

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 146599

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH
BOTOL PLASTIK *POLYETHYLENE
TEREPHTHALATE* (PET) PADA CAMPURAN
LATASTON LAPIS PONDASI (HRS-BASE)
TERHADAP PARAMETER *MARSHALL***

FARAH AISAH
NRP.10111410000061

Dosen Pembimbing
Dr. MACHSUS, ST., MT.
NIP. 19730914 200501 1 002

PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 146599

**ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH
BOTOL PLASTIK *POLYETHYLENE
TEREPHTHALATE* (PET) PADA CAMPURAN
LATASTON LAPIS PONDASI (HRS-BASE)
TERHADAP PARAMETER *MARSHALL***

**FARAH AISAH
NRP.10111410000061**

**Dosen Pembimbing
Dr. MACHSUS, ST., MT.
NIP. 19730914 200501 1 002**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL APLIED PROJECT - RC 1456599

**THE EFFECT ANALYSIS OF ADDITION WASTE
PLASTIC BOTTLE *POLYETHYLENE
TEREPHTHALATE* (PET) IN HOT ROLLED SHEET-
BASE ASPHALT MIXTURE BASED ON MARSHALL
PARAMETERS**

**FARAH AISAH
NRP.10111410000061**

**Dosen Pembimbing
Dr. MACHSUS, ST., MT.
NIP. 19730914 200501 1 002**

**DIPLOMA IV CIVIL ENGINEERING
CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING DEPARTMENT
VOCATIONAL FACULTY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUT OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2018**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BOTOL PLASTIK *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) PADA CAMPURAN LATASTON LAPIS PONDASI (HRS- BASE) TERHADAP PARAMETER MARSHALL

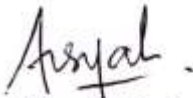
TUGAS AKHIR TERAPAN

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains Terapan
Program Studi Diploma IV Teknik Sipil
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Surabaya, 24 Juli 2018

Disusun Oleh :

Mahasiswa



Farah Aisah

NRP 10111410000061

24 JUL 2018

**Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir Terapan
Dosen Pembimbing**



Dr. Machsus, ST, MT.

NIP. 197309142005011002



ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1. FARAH AISAH 2
 NRP : 1. 101141000061 2
 Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : Dr. Mochsus, ST.MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	14-3-2018	Dicari Pb menggunakan penyerapan agregat atau holak.				
		Cari Referensi		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	17-4-2018	- Sampul ditambah dari 3 menjadi 5.				
3	21-4-2018	- Penelitian terdahulu (jurnal) minimal 5 tahun yg lalu.		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Kalau bisa studi literatur menggunakan jurnal internasional		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	22-5-2018	- Segera susun laporan				
		- Diberi penjelasan kenapa campuran aspal dengan penambahan plastik nilai VIM nya meningkat signifikan.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	4-6-2018	- sudah mulai menyusun paper.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Perbaiki penulisan redaksi				
		- CEF PAB				
6	5-6-2018	- Perbaiki penulisan redaksi		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- sudah mulai menyusun paper.				

dit.
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Tertinggal dari jadwal

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH BOTOL PLASTIK *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE* (PET) PADA CAMPURAN LATASTON LAPIS PONDASI (HRS-BASE) TERHADAP PARAMETER *MARSHALL*

Nama Mahasiswa : Farah Aisah
NRP : 10111410000061
Dosen Pembimbing : Dr. Machsus, ST, MT.
NIP : 19730914 200501 1 002

Indonesia menghasilkan sampah plastik ke laut mencapai 187,2 juta ton. Masalah ini mengantarkan Indonesia menjadi negara peringkat kedua dunia sebagai penghasil terbesar sampah plastik ke laut. Tujuan dari penelitian ini yakni mengetahui pengaruh penambahan limbah botol plastik pada campuran Lataston Lapis Pondasi agar dapat mengurangi limbah plastik dalam jumlah besar serta meminimalisir alokasi dana pada pembuatan jalan beraspal biasa.

Dalam penelitian ini digunakan limbah plastik jenis Polyethylene Terephthalate (PET) yang banyak sekali dijumpai di lingkungan sekitar. Lapisan aspal yang digunakan merupakan Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) yang biasa digunakan untuk tingkat lalu lintas sedang. Kadar limbah botol plastik yang digunakan yakni 0%; 2%; 4%; 6% dan 8% dari total berat aspal. Tahapan dalam penelitian ini meliputi uji fisik material, pengecekan spesifikasi HRS-Base yang mengacu pada spesifikasi umum PU Bina Marga Revisi 3, serta pengujian Marshall. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode basah, dimana PET dicampurkan kedalam aspal panas. Pembuatan dan pengujian benda uji dilakukan dalam 2 tahap,

yakni pembuatan benda uji tanpa tambahan PET untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang selanjutnya digunakan dalam campuran pembuatan benda uji dengan penambahan PET.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai Kadar Aspal Optimum sebesar 7,30%. Dari pengujian Marshall yang telah dilakukan, didapatkan nilai stabilitas campuran aspal yang ditambahkan PET mengalami peningkatan yang signifikan dibandingkan campuran aspal normal. Nilai stabilitas meningkat hingga 85% yakni sebesar 2703,5 kg pada kadar PET 8%, sedangkan nilai stabilitas campuran aspal tanpa penambahan PET sebesar 1458,9 kg. Selain nilai stabilitas, penambahan PET pada campuran aspal membuat nilai VIM, VMA, dan *Marshall Quotient* meningkat, sedangkan nilai *Density*, VFA, dan *flow* menurun. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, campuran aspal pada Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) yang memenuhi sebagian besar parameter Marshall berdasarkan spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Tahun 2010 merupakan campuran aspal dengan kadar aspal optimum 7,30% dan kadar PET sebesar 5% dari total berat aspal. Campuran aspal Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) dengan penambahan PET dapat mengurangi jumlah harga bahan sebesar Rp22.557 /m³ dibandingkan campuran aspal normal.

Kata kunci : *Polyethylene Terephthalate (PET)*, Lataston Lapis Pondasi, Parameter *Marshall*

ABSTRACT
**THE EFFECT ANALYSIS OF ADDITION WASTE
PLASTIC BOTTLE *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE*
(PET) IN HOT ROLLED SHEET-BASE ASPHALT
MIXTURE BASED ON MARSHALL PARAMETERS**

Name of student : Farah Aisah
NRP : 10111410000061
Lecturer : Dr. Machsus, ST, MT.
NIP : 19730914 200501 1 002

Indonesia produces plastic waste to the sea reaching 187.2 million tons. This problem led Indonesia to become the second world ranking country as a producer of plastic waste to the sea. The purpose of this study is to provide information on the HRS-Base in order to reduce plastic waste in large quantities and minimize the allocation of fund in the manufacture of normal paved road.

This research used plastic waste type Polyethylene Terephthalate (PET) which easily found in the environment. The asphalt layer used is Hot Rolled Sheet-Base (HRS-Base) which is commonly used for medium traffic levels. The percentage of waste plastic bottles used is 0%; 2%; 4%; 6% and 8% from total asphalt weight. The steps in this research include physical material tests, checking HRS-Base specifications that refer to the general specifications of PU Bina Marga Revision 3, and Marshall testing. The method used in this research is wet method, where PET is mixed into hot asphalt. Preparation and testing of specimen shall be carried out in 2 stages, that is the manufacture of test specimens without additional PET to obtain optimum asphalt content (KAO) which is further used in the mixture of making the specimen by the addition of PET.

The results of this study indicate that the value of Optimum Asphalt Content is 7.30%. From the Marshall test that has been done, the stability value of the asphalt mixture added by PET has increased significantly compared with the normal asphalt mixture. The stability value increased to 85% that is 2703.5 kg at 8% PET content, while the stability value of the asphalt mixture without the addition of PET was 1458.9 kg. In addition to the stability value, the addition of PET to the asphalt mixture makes the values of VIM, VMA, and Marshall Quotient increase, while Density, VFA, and flow values decrease. Based on the results of the research, the asphalt mixture of Hot Rolled Sheet-Base (HRS-Base) which satisfies most Marshall parameters based on General Specification of Bina Marga Revision 3 Year 2010 is an asphalt mixture with optimum asphalt content of 7,30% and PET content equal to 5% from total weight asphalt. Hot Rolled Sheet-Base (HRS-Base)mixture with PET addition can reduce material price amounting to Rp22,557/m³ compared with the normal asphalt mixture.

Keyword : Polyethylene Terephthalate (PET), Hot Rolled Sheet, Marshall Parameters

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas ke hadirat Allah SWT, karena dengan rahmat, ridho, dan pertolongan-Nya saya dapat menyelesaikan proposal tugas akhir terapan yang berjudul “**Analisa Pengaruh Penambahan Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalat (PET) Pada Campuran Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) Terhadap Parameter Marshall**” guna memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan pada Program Studi Diploma 4 Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini tidak akan terlaksana tanpa bantuan dan bimbingan dari beberapa pihak. Pada kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Orang tua serta seluruh keluarga yang tiada henti mendoakan dan mendukung penulis.
2. Bapak Dr. Machsus, ST., MT dan Bapak Ir. Rachmad Basuki, MS selaku dosen pembimbing yang telah membantu penulis dalam proses pengerjaan tugas akhir.
3. Sahabat penulis yakni Irol, Ca’eng, Ocik, Ardin, dan Ica yang selalu membantu dan setia mendengarkan keluh kesah penulis dalam pengerjaan tugas akhir.
4. Tim penelitian aspal plastik serta karyawan laboratorium jalan yang telah membantu pelaksanaan di laboratorium.
5. Teman-teman Kelas B 2014 yang telah membantu dan memberi semangat penulis.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunan. Semoga dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Surabaya, 24 Juli 2018

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Lokasi Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Polyethylene Terephthalate (PET)	5
2.2 Lapis Tipis Aspal Beton (LATASTON).....	6
2.3 Parameter Marshall	10
2.4 Penelitian Terdahulu	15
BAB III METODOLOGI	25
3.1 Kerangka Penelitian	25
3.2 Studi Literatur	27
3.3 Persiapan Alat dan Bahan	27

3.4	Pemeriksaan Material.....	32
3.4.1	Pemeriksaan Aspal	33
3.4.2	Pemeriksaan Agregat.....	36
3.4.3	Pemeriksaan <i>Additive</i>	38
3.5	Pembuatan Benda Uji Campuran.....	38
3.5.1	Menentukan Gradasi Campuran Agregat	38
3.5.2	Merencanakan Campuran Aspal.....	39
3.5.3	Pembuatan Benda Uji	40
3.6	Pengujian Marshall	44
3.7	Tata Cara Pelaksanaan Pencampuran.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		51
4.1	Hasil Pengujian Material.....	51
4.1.1	Analisa Saringan Agregat.....	51
4.1.2	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat	56
4.1.3	Keausan Agregat.....	59
4.1.4	Hasil Pengujian Aspal	61
4.2	Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan.....	61
4.3	Perencanaan Pembuatan Benda Uji	65
4.3.1	Penentuan Kadar Aspal Rencana.....	66
4.3.2	Variasi Nilai Kadar Aspal Rencana.....	69
4.4	Pengujian <i>Marshall</i> Kadar Aspal Rencana	71
4.4.1	Density.....	72
4.4.2	Void in Mix	73

4.4.3 Void Filled Asphalt	76
4.4.4 Void in Mineral Agregate.....	79
4.4.5 Flow.....	80
4.4.6 Stabilitas	82
4.4.7 Marshall Quotient.....	84
4.5 Perencanaan Proporsi Kadar Plastik	87
4.6 Perencanaan Pembuatan Benda Uji dengan Campuran PET	88
4.7 Pengujian Marshall Campuran Aspal Plastik.....	91
4.7.1 Density.....	91
4.7.2 Void in Mix	94
4.7.3 Void Filled Asphalt	98
4.7.4 Void in Mineral Agregate.....	100
4.7.5 Flow.....	103
4.7.6 Stabilitas	105
4.7.7 Marshall Quotient.....	108
4.8 Perbandingan Harga Campuran Aspal.....	114
4.8.1 Analisa Harga Bahan Tanpa PET.....	114
4.8.2 Analisa Harga Bahan dengan Tambahan PET ..	119
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	125
5.1 Kesimpulan	125
5.2 Saran	126
DAFTAR PUSTAKA.....	127

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik Density akibat penambahan PET	16
Gambar 2.2 Grafik VITM akibat penambahan PET	16
Gambar 2.3 Grafik VFWA akibat penambahan PET	17
Gambar 2.4 Grafik Flow akibat penambahan PET	17
Gambar 2.5 Grafik stabilitas akibat penambahan PET	17
Gambar 2.6 Grafik MQ akibat penambahan PET	19
Gambar 3.1 Limbah botol plastik PET tipe 1	28
Gambar 3.2 Agregat kasar dan halus.....	28
Gambar 3.3 Aspal penetrasi 60/70	29
Gambar 3.4 Benda uji dengan penambahan PET	44
Gambar 3.5 Benda uji yang telah diuji Marshall.....	46
Gambar 4.1 Grafik Diagonal Distribusi Agregat	62
Gambar 4.2 Grafik Gabungan 3 Fraksi Agregat	65
Gambar 4.3 Grafik Density tanpa Penambahan PET	73
Gambar 4.4 Grafik VIM tanpa Penambahan PET	75
Gambar 4.5 Grafik VFA tanpa Penambahan PET	78
Gambar 4.6 Grafik VMA tanpa Penambahan PET	80
Gambar 4.7 Grafik Flow tanpa Penambahan PET	82
Gambar 4.8 Grafik Stabilitas tanpa Penambahan PET	84
Gambar 4.9 Grafik MQ tanpa Penambahan PET	86
Gambar 4.10 Grafik density dengan penambahan PET	93
Gambar 4.11 Grafik VIM dengan penambahan PET	96
Gambar 4.12 Grafik VFA dengan penambahan PET	99
Gambar 4.13 Grafik VMA dengan penambahan PET.....	102
Gambar 4.14 Grafik flow dengan penambahan PET.....	104
Gambar 4.15 Grafik stabilitas dengan penambahan PET	107
Gambar 4.16 Grafik MQ dengan penambahan PET	110

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal.....	7
Tabel 2.2 Jenis pengujian agregat untuk campuran beraspal panas	8
Tabel 2.3 Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Lataston	9
Tabel 2.4 Ketentuan - Ketentuan Untuk Aspal Keras	9
Tabel 2.5 Jenis pengujian aspal keras untuk aspal campuran panas	10
Tabel 2.6 Kadar aspal optimum campuran beton aspal.....	20
Tabel 2.7 Hasil pengujian Marshall	22
Tabel 2.8 Persamaan dan perbedaan dengan penelitian sebelumnya.....	24
Tabel 3.1 Jumlah total benda uji	46
Tabel 3.2 Keterangan gambar proses pembuatan benda uji	50
Tabel 4.1 Analisa Saringan Agregat Kasar (10-10 mm)	52
Tabel 4.2 Analisa Saringan Agregat Sedang (5-10 mm).....	53
Tabel 4.3 Analisa Saringan Agregat Halus (0-5 mm)	55
Tabel 4.4 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (10-10 mm)	57
Tabel 4.5 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Sedang (5-10 mm)	58
Tabel 4.6 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (0-5 mm)	59
Tabel 4.7 Hasil Uji Sifat Fisik Agregat	60
Tabel 4.8 Hasil Uji Karakteristik Aspal	61
Tabel 4.9 Presentase Variasi Campuran 1	62
Tabel 4.10 Persentase Penggabungan Agregat (Combined Aggregate)	63
Tabel 4.11 Persentase Variasi Campuran 2	65

Tabel 4.12 Fraksi Desain Butiran Agregat	67
Tabel 4.13 Variasi Campuran Kadar Aspal 6,30%.....	69
Tabel 4.14 Proporsi Campuran Kadar Aspal 6,80%.....	70
Tabel 4.15 Proporsi Campuran Kadar Aspal 7,30%.....	70
Tabel 4.16 Proporsi Campuran Kadar Aspal 7,80%.....	71
Tabel 4.17 Proporsi Campuran Kadar Aspal 8,30%.....	71
Tabel 4.18 Nilai Density tanpa Penambahan PET.....	72
Tabel 4.19 Nilai VIM tanpa Penambahan PET	74
Tabel 4.20 Nilai VFA tanpa Penambahan PET	77
Tabel 4.21 Nilai VMA tanpa Penambahan PET.....	79
Tabel 4.22 Nilai Flow tanpa Penambahan PET.....	81
Tabel 4.23 Nilai Stabilitas tanpa Penambahan PET	83
Tabel 4.24 Nilai MQ tanpa Penambahan PET.....	85
Tabel 4.25 Nilai Kadar Aspal Optimum.....	86
Tabel 4.26 Harga densitas plastik tiap suhu	88
Tabel 4.27 KAO 7,3% dengan Campuran PET 0%.....	89
Tabel 4.28 KAO 7,3% dengan Campuran PET 2%.....	89
Tabel 4.29 KAO 7,3% dengan Campuran PET 4%.....	90
Tabel 4.30 KAO 7,3% dengan Campuran PET 6%.....	90
Tabel 4.31 KAO 7,3% dengan Campuran PET 8%.....	91
Tabel 4.32 Nilai density dengan penambahan PET	92
Tabel 4.33 Nilai VIM dengan penambahan PET	95
Tabel 4.34 Nilai VFA dengan penambahan PET	98
Tabel 4.35 Nilai VMA dengan penambahan PET	101
Tabel 4.36 Nilai flow dengan penambahan PET	103
Tabel 4.37 Nilai stabilitas dengan penambahan PET	106
Tabel 4.38 Nilai MQ dengan penambahan PET	109
Tabel 4.39 Rangkuman hasil uji Marshall.....	111
Tabel 4.40 Kadar PET optimum.....	111
Tabel 4.41 Rangkuman material yang digunakan	112
Tabel 4.42 Rangkuman hasil pengujian	113

Tabel 4.43 Asumsi analisa harga tanpa PET per m3	115
Tabel 4.44 Koefisien bahan tanpa PET per m3	116
Tabel 4.45 Jumlah harga bahan tanpa PET per m3	116
Tabel 4.46 Asumsi analisa harga tanpa PET per benda uji	117
Tabel 4.47 Koefisien bahan tanpa PET per m3	118
Tabel 4.48 Jumlah harga bahan tanpa PET per m3	119
Tabel 4.49 Asumsi analisa harga dengan PET per m3	120
Tabel 4.50 Koefisien bahan dengan PET per m3	121
Tabel 4.51 Jumlah harga bahan dengan PET per m3	121
Tabel 4.52 Asumsi analisa harga dengan PET per benda uji	122
Tabel 4.53 Koefisien bahan dengan PET per benda uji	123
Tabel 4.54 Jumlah harga bahan dengan PET per benda uji	124

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan sampah yang ada di laut Indonesia semakin memprihatinkan karena volume sampah yang dibuang ke laut semakin hari semakin meningkat. Sampah plastik yang berasal dari daratan dan dibuang ke laut jumlahnya mencapai 80 persen dari total sampah yang ada di laut [1]. Indonesia menghasilkan sampah plastik ke laut mencapai 187,2 juta ton. Masalah ini mengantarkan Indonesia menjadi negara peringkat kedua dunia sebagai penghasil terbesar sampah plastik ke laut [2]. Kota Surabaya menghasilkan sampah sebesar 1500 ton per hari dengan komposisi 60% sampah organik, dan 40% merupakan sampah anorganik [3]. Inovasi dalam pengelolaan limbah plastik diperlukan untuk mengurangi jumlah sampah plastik yang ada di Indonesia.

Disisi lain, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melalui Direktorat Jenderal Bina Marga menargetkan akan membangun sekitar 258 kilometer jalan baru di wilayah perbatasan Indonesia [4]. Pembangunan infrastruktur jalan baru diharapkan dapat menggunakan inovasi aspal dengan penambahan limbah plastik untuk mengurangi jumlah limbah plastik yang ada serta meminimalisir alokasi dana pada pembuatan jalan dengan campuran aspal normal. Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan *additive* (tambah) bertujuan untuk menaikkan mutu campuran aspal.

Jenis-jenis lapis perkerasan lentur yang digunakan di Indonesia seperti Laston (Lapis Aspal

Beton), Lataston (Lapis Tipis Aspal Beton/HRS), Latasir (Lapis Tipis Aspal Pasir), SMA (*Split Mastic Asphalt*), HSMA (*High Stiffness Modulus Asphalt*) dan yang lainnya, dengan sifat dan karakteristik yang berbeda-beda untuk masing-masing jenis lapis perkerasan. Lapis tipis aspal beton (Lataston) adalah lapisan penutup yang terdiri dari campuran agregat bergradasi senjang, *filler* dan aspal keras dengan perbandingan tertentu, yang dicampur dan dipadatkan secara panas (dalam suhu tertentu, minimum 124°C), dengan ketebalan padat 2,5 cm atau 3 cm [5]. Lataston digunakan pada jalan dengan beban lalu lintas sedang.

Jenis limbah plastik yang digunakan merupakan jenis plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) karena mudah didapatkan di lingkungan sekitar dan jumlahnya sangat banyak. Penggunaan limbah plastik sebagai alternatif bahan tambah campuran aspal, diharapkan dapat meningkatkan kualitas perkerasan aspal beton serta mengurangi masalah lingkungan yang timbul akibat meningkatnya limbah plastik tiap tahunnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja campuran Lataston Lapis Pondasi dengan penambahan limbah plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka diambil suatu rumusan masalah`sebagai berikut :

- a. Bagaimana merancang proporsi campuran Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) dengan tambahan limbah plastik tipe *Polyethylene Terephthalate* (PET)?
- b. Bagaimana pengaruh penambahan limbah plastik tipe PET (*Polyethylene Terephthalate*) pada

campuran Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) terhadap parameter Marshall?

- c. Bagaimana analisa perbandingan harga campuran Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) yang menggunakan limbah plastik tipe PET dan yang tidak menggunakan limbah plastik tipe PET?


1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yakni :

- a. Untuk mengetahui proporsi campuran Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) dengan tambahan limbah plastik tipe Polyethylene Terephthalate (PET).
- b. Untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik tipe PET (Polyethylene Terephthalate) pada campuran Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) terhadap parameter Marshall yang meliputi kerapatan campuran (density), presentase rongga dalam campuran (VIM), presentase rongga dalam campuran yang terisi aspal (VFA), presentase rongga di antara mineral agregat (VMA), stabilitas, kelelahan (flow), dan hasil bagi Marshall (Marshall Quotient)
- c. Untuk mengetahui analisa perbandingan harga campuran Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) yang menggunakan limbah plastik tipe PET dan yang tidak menggunakan limbah plastik tipe PET.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian tugas akhir ini dapat terarah dan terencana, maka penulis membuat suatu batasan masalah sebagai berikut :

- a. Jenis botol plastik yang digunakan *Polyethylene Terephthalate* tipe 1 ()
- d. Jenis perkerasan berupa Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base)
- e. Jenis aspal dengan penetrasi 60/70
- f. Kadar penambahan plastik dengan variasi 0%; 2%; 4%; 6% dan 8% dari total berat aspal.
- g. Metode pencampuran menggunakan metode basah
- h. Tidak membahas kandungan unsur kimia yang terkandung dalam bahan - bahan penelitian dan reaksi kimia yang terjadi pada campuran akibat penggunaan plastik dan aspal.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

- a. Memberikan inovasi pengolahan limbah plastik sebagai campuran Lataston Lapis Pondasi.
- b. Dapat mengurangi jumlah limbah plastik di Indonesia.

1.6 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Trasnportasi Fakultas Vokasi, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polyethylene Terephthalate (PET)

PET atau PETE merupakan plastik dengan kode 1. Jenis plastik ini memang banyak digunakan untuk botol minuman seperti botol air mineral atau botol jus. Botol dari jenis ini hanya direkomendasikan untuk satu kali pemakaian. Penggunaannya sebagai bahan dasar botol kemasan mencapai 30% pemakaian dunia. PET juga digunakan sebagai serat sintetis atau polyester yang mencapai 60% pemakaian dunia. Karakteristik dari jenis plastik ini adalah berwarna jernih, transparan atau tembus pandang, liat, kuat dan tahan panas. Plastik PET memiliki dimensi yang stabil dan tidak beracun [6]. Penggunaan PET sangat luas antara lain : botol-botol untuk air mineral, soft drink, kemasan sirup, saus, selai, minyak makan [7].

Nurminah menjelaskan Polyethylene merupakan film yang lunak, transparan dan fleksibel, mempunyai kekuatan benturan serta kekuatan sobek yang baik [8]. Dengan pemanasan akan menjadi lunak dan mencair pada suhu 110°C. PET mempunyai kombinasi sifat-sifat: kekuatan (strength) yang tinggi, kaku (stiffness), dimensinya stabil, tahan bahan kimia dan panas, serta mempunyai sifat elektrik yang baik. PET memiliki daya serap uap air yang rendah, demikian juga daya serap terhadap air. PET dapat diproses dengan proses ekstrusi pada suhu tinggi 518- 608°F, selain itu juga dapat diproses dengan teknik cetak injeksi maupun cetak tiup. Sebelum dicetak sebaiknya resin PET dikeringkan lebih dahulu (maksimum kandungan uap air 0,02 %) untuk mencegah terjadinya proses hidrolisa

selama pencetakan. Menurut Surdia et al dalam jurnal purnamasari [13] sifat khas polimer sangat berubah oleh perubahan temperatur. Hal ini disebabkan apabila temperatur berubah, pergerakan molekul karena termal akan mengubah molekul atau merubah struktur (terutama struktur yang berdimensi besar).

2.2 Lapis Tipis Aspal Beton (LATASTON)

Menurut Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 Bina Marga pasal 6.3.1 2b, Lapis Tipis Aspal Beton (LATASTON) yang kemudian disebut HRS, terdiri dari dua jenis campuran, HRS Pondasi (HRS-Base) dan HRS Lapis Aus (HRS *Wearing Course*, HRS-WC) dan ukuran maksimum agregat masing – masing campuran adalah 19 mm [5]. HRS-Base mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar daripada HRS–WC. Tebal minimum nominal HRS-Base adalah 3,5 cm. Lataston digunakan pada jalan dengan lalu lintas sedang. Dimana LHR untuk jalan dengan lalu lintas sedang sebesar 5000 – 10000 kendaraan. Untuk mendapatkan hasil yang memuaskan, maka campuran harus dirancang sampai memenuhi semua ketentuan yang diberikan dalam spesifikasi. Dua kunci utama adalah :

- a. Gradasi yang benar – benar senjang.
Agar diperoleh gradasi yang benar – benar senjang, maka selalu dilakukan pencampuran pasir halus dengan agregat pecah mesin.
- b. Sisa rongga udara pada kepadatan membal (refusal density) harus memenuhi ketentuan yang ditunjukkan dalam Spesifikasi ini.

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas – batas yang diberikan dalam tabel dibawah ini :

Tabel 2.1 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran			
	Lataston (HRS)			
	Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang	
	WC	Base	WC	Base
37,5				
25				
19	100	100	100	100
12,5	90 - 100	90 - 100	87 - 100	90 – 100
9,5	75 - 85	65 - 90	55 - 88	55 – 70
4,75				
2,36	50 - 72	35 - 55	50 - 62	32 – 44
1,18				
0,600	35 - 60	15 - 35	20 - 45	15 – 35
0,300			15 - 35	5 – 35
0,150				
0,075	6 - 10	2 - 9	6 10	4 – 8

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 3), 2010

Adapun ketentuan pengujian agregat diperlukan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik agregat sebelum digunakan sebagai bahan campuran beraspal panas. Jenis pengujian agregat diperlihatkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.2 Jenis pengujian agregat untuk campuran beraspal panas

Nomor Standar	Judul Pengujian
SNI 03-2417-1991	Metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles
SNI 03-4142-1996	Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm).
SNI 03-1968-1990	Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar.
SNI 03-4428-1997	Metode pengujian agregat halus atau pasir yang mengandung bahan plastis dengan cara setara pasir
SNI 03-4141-1996	Metode pengujian gumpalan lempungan butir - butir mudah pecah dalam agregat.
SNI 03-1969-1990	Metode pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat kasar.
SNI 03-1970-1990	Metode pengujian Berat Jenis dan penyerapan air agregat halus.
SNI 06-2439-1991	Metode pengujian kelekatan agregat terhadap aspal.
Pennsylvania DoT Test No. 621	<i>Determining the percentage of crushed fragments in gravel.</i>
AASHTO TP-33	<i>Test procedure for fine aggregate angularity.</i>
BS 812-1975	Pemeriksaan kepipihan dan kelongongan agregat.
SNI 03-3416-1994	Metode pengujian partikel ringan dalam agregat.
ASTM D 75-87	<i>Sampling aggregates</i>

Sumber: Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, 2002

Ketentuan sifat - sifat campuran beraspal yang dikeluarkan oleh Bina Marga, mengenai campuran beraspal jenis laston yang juga menjadi acuan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

Tabel 2.3 Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Lataston

Sifat - sifat campuran		Lataston			
		Lapis Aus		Lapis Pondasi	
		Senjang	Semi Senjang	Senjang	Semi Senjang
Kadar aspal efektif (%)	Min	5,9	5,9	5,5	5,5
Penyerapan aspal (%)	Maks	1,7			
Jumlah tumbukan per bidang		75			
Rongga dalam campuran (%)	Min	4,0			
	Maks	6,0			
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	18		17	
Rongga terisi aspal (%)	Min	68			
Stabilitas marshall (kg)	Min	800			
Pelelehan (mm)	Min	3			
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250			
Stabilitas marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90			
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	3			

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 3), 2010

Ketentuan aspal penetrasi 60/70 yang mengacu pada peraturan bina marga 2010, pasal 6.4.2 6b, dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.4 Ketentuan - Ketentuan Untuk Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70
1.	Penetrasi pada 25 ⁰ C (dmm)	SNI 06-2456-1991	60-70
2.	Viskositas 135 ⁰ C (cSt)	SNI 06-6441-2000	385
3.	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥48
4.	Indeks Penetrasi		≥-1.0
5.	Daktilitas pada 25 ⁰ C, (cm)	SNI 06-2432-1991	≥100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥232
7.	Kelarutan dlm Toluene (%)	ASTM D5546	≥99
8.	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥1.0
9.	Stabilitas Penyimpanan (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 3), 2010

Adapun ketentuan pengujian aspal keras untuk campuran aspal panas diperlihatkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.5 Jenis pengujian aspal keras untuk aspal campuran panas

Spesifikasi atau judul pengujian	Metode pengujian
1. Penetrasi	SNI 06-2456-1991
2. Titik lembek	SNI 06-2434-1991
3. Daktilitas	SNI 06-2432-1991
4. Kelarutan dalam C_2HCl_3	SNI 06-2438-1991
5. Titik nyala	SNI 06-2433-1991
6. Berat jenis	SNI 06-2488-1991
7. Kehilangan berat	SNI 06-2441-1991
8. Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI 06-2456-1991
9. Daktilitas setelah kehilangan berat	SNI 06-2432-1991
10. Titik lembek setelah RTFOT	SNI 06-2434-1991
11. Temperatur pencampuran dan pemadatan	SNI 03-6411-2000
12. Kadar air	SNI 06-2439-1991

Sumber : Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, 2002

2.3 Parameter Marshall

Pada penelitian ini, penambahan limbah botol plastik Polyethylene Terephthalate (PET) dalam campuran aspal diharapkan dapat memenuhi parameter Marshall yang meliputi :

a. Kerapatan campuran (*density*)

Nilai density adalah nilai berat volume untuk menunjukkan kepadatan dari campuran beton aspal. Faktor – faktor yang mempengaruhi density adalah temperatur pemadatan, kadar filler, energi pemadat, dan kadar aspal. Menurut Roberts [9], kadar aspal naik, density ikut naik sampai mencapai puncaknya lalu turun. Puncak kepampatan biasanya bersamaan

dengan kadar aspal optimum dan stabilitas puncak. Sebenarnya kepampatan yang diperoleh selama pemadatan di laboratorium tidak begitu penting. Hal yang terpenting adalah kedekatan antara kepampatan yang diperoleh di laboratorium dengan kepampatan yang diperoleh di lapangan setelah beberapa tahun dibebani oleh lalu lintas. Kepampatan yang tinggi akan menghasilkan kemampuan untuk menahan beban yang tinggi serta kedekatan terhadap air dan udara yang tinggi.

b. Presentase rongga dalam campuran (VIM)

Menurut Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Tahun 2002 [10], VIM adalah volume total udara yang berada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dengan persen volume bulk suatu campuran. Rongga udara (VIM) setelah selesai dipadatkan idealnya adalah 8%. Rongga udara yang kurang jauh dari 8% akan rentan terhadap pelelehan, alur dan deformasi plastis. Sementara VIM setelah selesai pemadatan yang jauh dari 8% akan rentan terhadap retak dan pelepasan butir (disintegrasi). Untuk mencapai nilai lapangan tersebut dalam spesifikasi, nilai VIM rencana dibatasi pada interval 3% sampai 6%. Dengan kepadatan lapangan dibatasi minimum 98%. Tujuan perencanaan VIM adalah untuk membatasi penyesuaian kadar aspal rencana pada kondisi VIM mencapai tengah-tengah rentang spesifikasi, atau dalam hal khusus agar mendekati batas terendah rentang yang disyaratkan serta agar

campuran mendekati kesesuaian dengan hasil uji di laboratorium.

c. Presentase rongga dalam campuran yang terisi aspal (VFA)

Menurut Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Tahun 2002 [10], VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif, dinyatakan dalam persen. Kriteria VFA bertujuan menjaga keawetan campuran beraspal dengan memberi batasan yang cukup. Pada gradasi yang sama, semakin tinggi nilai VFA makin banyak kadar aspal campuran tersebut. Sehingga kriteria VFA dapat menggantikan kriteria kadar aspal dan tebal lapisan film aspal (asphalt film thicknes). Nilai VFA yang terlalu tinggi dapat menyebabkan naiknya aspal ke permukaan saat suhu perkerasan tinggi. Sedangkan VFA yang terlalu rendah berarti campuran bersifat porous dan mudah teroksidasi.

VFA, VMA dan VIM saling berhubungan karena itu bila dua di antaranya diketahui maka dapat mengevaluasi yang lainnya. Kriteria VFB membantu perencanaan campuran dengan memberikan VMA yang dapat diterima. Kriteria VFA menyediakan tambahan faktor keamanan dalam merencanakan dan melaksanakan campuran beraspal panas. Karena perubahan dapat terjadi antara tahap perencanaan dan pelaksanaan, maka kesalahan-kesalahan dapat ditampung dengan memperlebar rentang yang dapat diterima.

d. Presentase rongga di antara mineral agregat (VMA)

Rongga di antara mineral atau struktur agregat (VMA) suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan adalah volume rongga yang terdapat diantara partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji. Volume agregat dihitung dari berat jenis bulk (bukan berat jenis efektif atau berat jenis nyata). Batas minimum VMA tergantung pada ukuran maksimum agregat yang digunakan. Hubungan antara kadar aspal dengan VMA pada umumnya membentuk cekungan dengan satu nilai minimum, kemudian naik lagi dengan naiknya kadar aspal.

e. Stabilitas

Menurut Sukirman [11], stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, kebutuhan akan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya, perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas ringan tentu tidak perlu mempunyai stabilitas yang tinggi.

f. Kelelehan (*flow*)

Departemen Pekerjaan Umum mengatakan bahwa flow adalah besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan, dinyatakan dalam satuan panjang [12]. Menurut Rahmawati [13], kelelehan menunjukkan deformasi benda uji akibat pembebanan. Nilai kelelehan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain gradasi, kadar aspal, bentuk dan permukaan agregat. Nilai flow yang terlalu tinggi mengindikasikan campuran yang bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban, sedangkan flow yang terlalu rendah mengisyaratkan campuran tersebut memiliki rongga tak terisi aspal yang lebih tinggi dari kondisi normal, atau kandungan aspal yang terlalu rendah sehingga berpotensi retak dini dan durabilitas rendah.

g. Hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

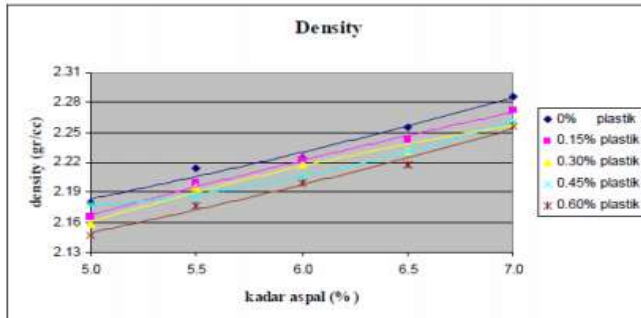
Menurut Rahmawati [13], Marshall Quotient dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap kelelehan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran. Nilai Marshall Quotient yang tinggi menunjukkan nilai kekakuan lapis keras yang tinggi. Lapis keras yang mempunyai nilai Marshall Quotient terlalu tinggi akan mudah terjadi retak-retak akibat beban lalu lintas yang berulang-ulang. Sebaliknya, nilai Marshall Quotient yang terlalu rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel (plastis) yang mengakibatkan lapis keras akan

mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas.

2.4 Penelitian Terdahulu

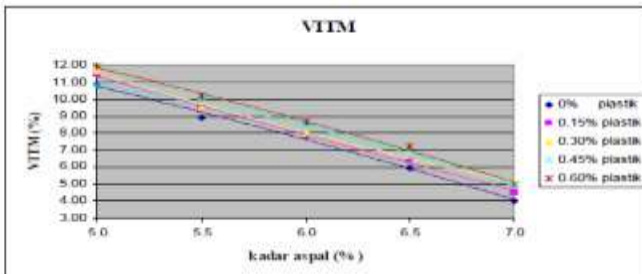
Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Beberapa diantaranya memiliki kesamaan dengan penelitian yang akan penulis teliti, seperti kesamaan jenis plastik dan kesamaan lapisan aspal. Beberapa penelitian tersebut adalah :

- a. Purnamasari [14], dengan judul penelitian “Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston)”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan botol plastik sebagai bahan tambah Laston. Jenis plastik yang digunakan adalah Polyethylene Terephthalate (PET). Sedangkan Lapisan aspal yang digunakan adalah Lapisan Aspal Beton. Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 0,15%, 0,30%, 0,45%, dan 0,60% dari berat agregat. Aspal yang digunakan adalah jenis aspal dengan penetrasi 60/70. Sedangkan kadar aspal yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Pengaruh dilihat berdasarkan karakteristik terhadap uji Marshall dengan hasil sebagai berikut :



Gambar 2.1 Grafik Density akibat penambahan PET

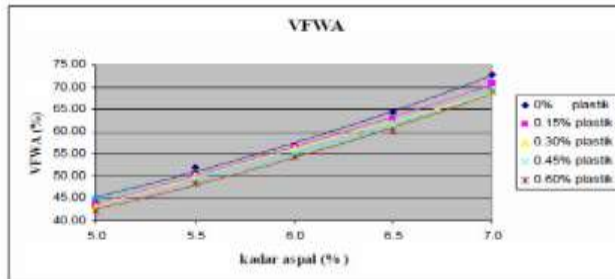
Nilai density tertinggi adalah 2,2862 pada campuran dengan kadar aspal 7% tanpa penambahan plastik, sedangkan nilai density terendah adalah 2,1475 pada campuran dengan kadar aspal 7% dan penambahan plastik sebesar 0,60%.



Gambar 2.2 Grafik VITM akibat penambahan PET

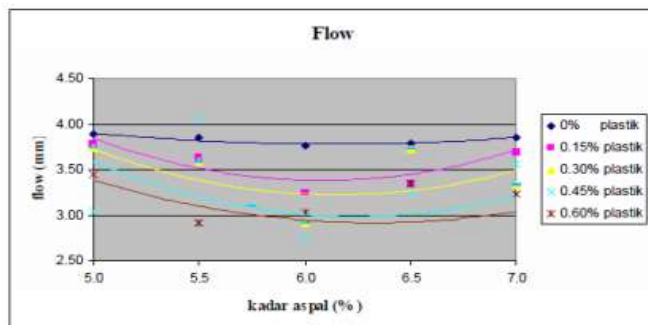
Nilai VITM tertinggi adalah 11,9546 pada campuran dengan kadar aspal 5% dan kadar plastik 0,6% sedangkan nilai VITM terendah adalah 4,0482 pada campuran dengan kadar aspal 7% tanpa penambahan plastik. Nilai VITM campuran yang memenuhi persyaratan 3–5% adalah campuran dengan kadar aspal 7% untuk semua variasi penambahan kadar plastik. Hal ini disebabkan pada

kadar tersebut, aspal cukup banyak untuk mengisi rongga yang ada.



Gambar 2.3 Grafik VFWA akibat penambahan PET

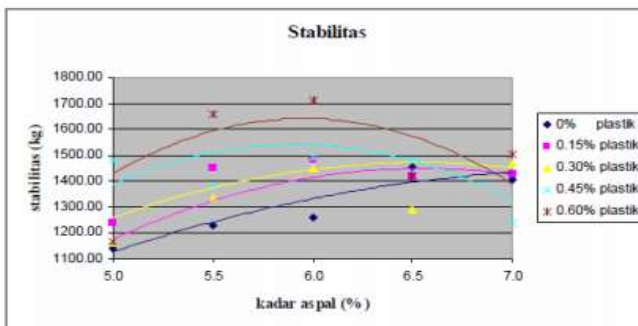
Nilai VFWA tertinggi adalah 72,7744% pada campuran dengan kadar aspal 7% tanpa penambahan plastik, sedangkan nilai VFWA terendah adalah 42,3106% pada campuran dengan kadar aspal 5% dan kadar plastik 0.6%. Nilai VFWA yang memenuhi persyaratan minimal 65% adalah campuran dengan kadar aspal 7% untuk semua variasi penambahan kadar plastik.



Gambar 2.4 Grafik Flow akibat penambahan PET

Dari grafik diatas, tampak bahwa dengan kenaikan kadar plastik, nilai flow cenderung menurun pada kadar aspal 5-6%. Hal ini disebabkan

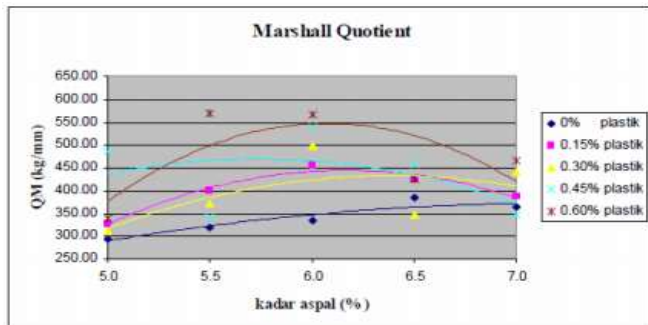
viskositas aspal yang meningkat seiring penambahan kadar plastik sehingga aspal yang mengisi rongga semakin kecil, namun masih mampu mengikat agregat, menyebabkan nilai flow turun. Pada kadar aspal 6-7% , nilai flow cenderung meningkat seiring penambahan kadar plastik. Hal ini disebabkan meningkatnya kadar aspal menyebabkan campuran semakin melunak dan meningkatkan nilai flow. Pada penelitian ini nilai flow yang tidak memenuhi persyaratan 2,0-4,0 mm adalah flow pada campuran dengan kadar aspal 5,5% dengan kadar plastik 0,45%.



Gambar 2.5 Grafik stabilitas akibat penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat, seiring penambahan kadar plastik, nilai stabilitas cenderung naik pada kadar aspal 5-6%. Pada kadar aspal yang lebih tinggi 6,5-7%, nilai stabilitas turun daripada nilai stabilitas pada kadar aspal 6% untuk variasi kadar plastik 0,15-0,6%. Hal ini disebabkan karena viskositas menurun seiring penambahan kadar aspal. Kadar aspal yang makin tinggi menyebabkan selimut aspal menjadi semakin tebal dan campuran menjadi lebih lunak. Nilai

stabilitas tertinggi adalah 1711,8319 kg pada campuran dengan kadar aspal 6% dan kadar plastik 0,60%, sedangkan nilai stabilitas terendah adalah 1141,5983 kg pada campuran dengan kadar aspal 5% tanpa penambahan plastik. Semua nilai variasi campuran memenuhi syarat minimal stabilitas 550 kg.



Gambar 2.6 Grafik MQ akibat penambahan PET

Dari grafik diatas, terlihat bahwa nilai QM campuran dengan penambahan plastik cenderung lebih tinggi daripada campuran tanpa plastik. Hal ini disebabkan karena nilai stabilitas campuran dengan plastik lebih tinggi dan nilai flownya juga lebih kecil daripada campuran tanpa plastik. Spesifikasi yang disyaratkan nilai QM 200-350 kg/mm, dari hasil penelitian Marshall, nilai QM yang memenuhi persyaratan adalah campuran beton aspal pada kadar aspal 5% dengan kadar plastik 0%, 0,15% 0,30%, 0,60%; kadar aspal 5,5% dengan kadar plastik 0%,0,45%; kadar aspal 6% dengan kadar plastik 0%; kadar aspal 6,5% dengan kadar plastik 0,30% dan kadar aspal 7% dengan kadar plastik

0,45%.

Tabel 2.6 Kadar aspal optimum campuran beton aspal

No.	Karakteristik Marshall	Kadar Aspal (%)				
		5	5,5	6	6,5	7
1	Density					
2	VITM					
3	VFWA					
4	Stabilitas					
5	Flow					
6	QM					
Kadar aspal optimum = 7 % pada kadar plastik 0,45%						
= memenuhi persyaratan Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya, SKBH - 2.4.5B, 1987.						

Kadar aspal Optimum adalah jumlah aspal yang digunakan dalam campuran agar dapat mencapai persyaratan density, VITM, VFWA , stabilitas, flow dan QM dan tentu saja sesuai dengan persentase penambahan plastik yang paling sesuai. Ternyata kadar aspal Optimum berada pada 7% aspal dan 0,45% kadar plastik.

- b. Prameswari [15], dengan judul penelitian “Pengaruh Pemanfaatan PET pada Laston Lapis Pengikat Terhadap Parameter Marshall”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh menggunakan botol plastik sebagai bahan tambah Laston. Jenis plastik yang digunakan adalah Polyethylene Terephthalate (PET). Sedangkan Lapisan aspal yang digunakan adalah Laston Lapis Pengikat. Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% dari berat aspal. Aspal yang digunakan adalah jenis aspal dengan penetrasi 60/70. Sedangkan kadar aspal yang digunakan adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

Kadar aspal yang memenuhi ke enam sifat campuran adalah 6,44 % untuk gradasi batas tengah dan 6,69 % untuk gradasi batas atas. Dari kedua nilai tersebut diambil nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,44 %. Hal ini dikarenakan nilai tersebut lebih mendekati nilai P_b . Kemudian dilakukan pembuatan benda uji KAO untuk pengujian karakteristik marshall. Diperoleh lah hasil pengujian marshall untuk benda uji kadar aspal optimum yang hasilnya telah memenuhi syarat spesifikasi baik itu kelompok gradasi batas tengah maupun batas atas.

Dengan adanya PET dalam campuran aspal diketahui dapat meningkatkan nilai stabilitas aspal dibandingkan dengan campuran tanpa penambahan PET. Kadar penambahan PET yang memenuhi keenam persyaratan baik karakteristik marshall dan volumetrik campurannya adalah kadar 2%.

- c. Widodo [16] dengan judul penelitian “Pengaruh Penambahan Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Dalam Campuran Laston-WC Terhadap Parameter Marshall”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan botol plastik sebagai bahan tambah Laston. Jenis plastik yang digunakan adalah Polyethylene Terephthalate (PET). Sedangkan Lapisan aspal yang digunakan adalah Laston Lapis Aus. Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, dan 6% dari berat aspal. Aspal yang digunakan adalah jenis aspal dengan penetrasi 60/70. Sedangkan kadar aspal yang digunakan adalah 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

Pengaruh dilihat berdasarkan karakteristik terhadap uji Marshall dengan hasil sebagai berikut :

Tabel 2.7 Hasil pengujian Marshall

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Plastik PET (%)			
			0 %	2 %	4%	6 %
1	VIM (%)	3--6	14,652	36,572	37,107	19,961
2	VMA (%)	≥ 18	0,130	0,038	0,038	0,089
3	Stabilitas (kg)	≥ 800	1595,011	2881,168	2714,526	2373,18
4	Flow (mm)	≥ 3	6,227	5,070	4,960	5,325
5	MQ (kg/mm)	≥ 250	256,141	569,999	547,284	454,392

- d. Rahmawati [13] dengan judul penelitian “Perbandingan Pengaruh Penambahan Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Dalam Laston-WC dan Lataston-WC Terhadap Karakteristik Marshall”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan plastik jenis HDPE sebagai bahan tambah Laston. Jenis plastik yang digunakan adalah High Density Polyethylene (HDPE). Sedangkan Lapisan aspal yang digunakan adalah Laston-WC dan Lataston-WC. Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, dan 6% dari total berat aspal. Aspal yang digunakan adalah jenis aspal dengan penetrasi 80/100. Sedangkan kadar aspal yang digunakan adalah 6,5% untuk Laston, dan 7,5% untuk Lataston. Pengaruh dilihat berdasarkan karakteristik terhadap uji Marshall dengan hasil penggunaan HDPE pada jenis ini memberikan pengaruh pada campuran laston dan lataston terhadap berbagai karakteristik Marshall, yakni untuk nilai stabilitas, kelelahan, VIM, VFA, MQ cenderung mengalami peningkatan, sedangkan nilai Flow dan VMA cenderung mengalami penurunan.

- e. Moghaddam [17] dengan judul penelitian “Utilization of Waste Plastic Bottles in Asphalt Mixture”. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan botol plastik sebagai bahan tambah lapisan aspal. Jenis plastik yang digunakan adalah Polyethylene Terephthalate (PET). Sedangkan Lapisan aspal yang digunakan adalah Stone Mastic Asphalt (SMA). Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6% dan 1% dari total berat agregat. Aspal yang digunakan adalah jenis aspal dengan penetrasi 80/100. Hasil dari pengujian ini yakni dengan penambahan PET dapat meningkatkan nilai stabilitas daripada yang tidak ditambahkan PET. Nilai stabilitas naik saat ditambahkan PET dalam persentase yang sedikit, dan menurun saat ditambahkan PET dalam jumlah yang banyak. Dengan menambahkan persentase PET yang banyak, menghasilkan nilai flow yang tinggi.

Perbedaan dan persamaan antara penelitian yang dilakukan dan penelitian sebelumnya terletak pada penggunaan jenis plastik serta lapisan aspalnya. Dalam penelitian ini peneliti meneliti bagaimana pengaruh penambahan limbah plastik jenis PET pada campuran Lataston Lapis Pondasi atau HRS – Base. Adapun persamaan dan perbedaan dengan penelitian sebelumnya akan dijelaskan dalam tabel di bawah ini :

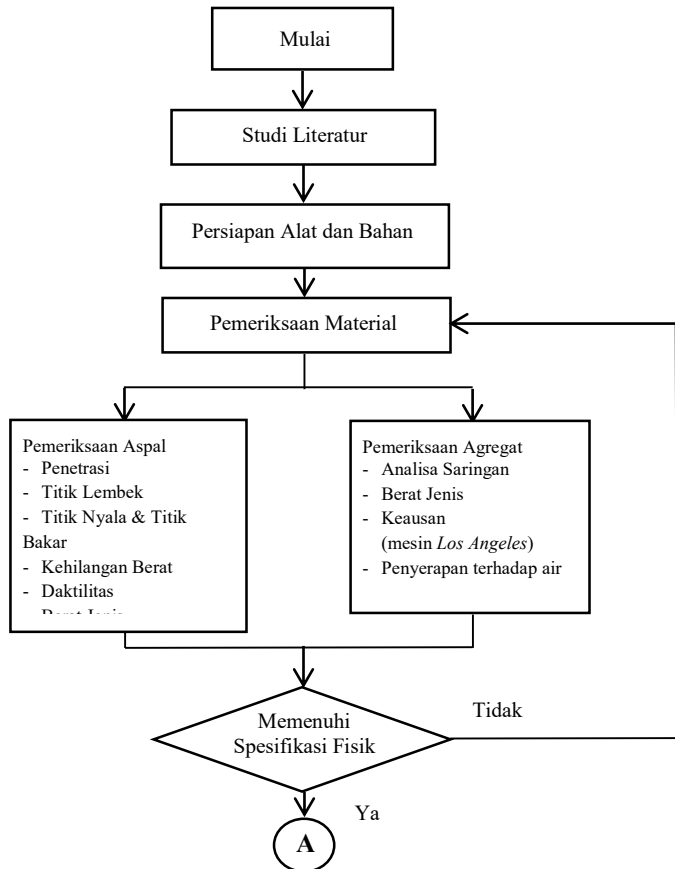
Tabel 2.8 Persamaan dan perbedaan dengan penelitian sebelumnya

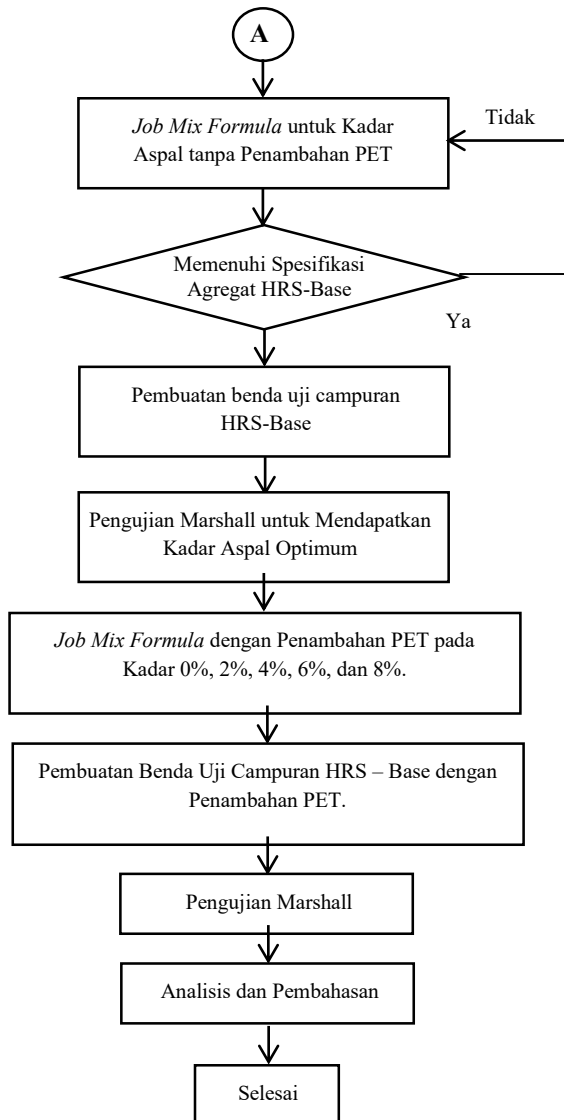
No.	Nama Penulis, Tahun, dan Judul	Hasil Penelitian	Persamaan	Perbedaan	
				Penelitian Terdahulu	Rencana Penelitian
1	Purnamasari et al. (2010) Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston).	Berdasarkan persyaratan Bina Marga 1987, campuran yang memenuhi semua persyaratan karakteristik Marshall adalah campuran dengan kadar aspal Optimum 7% dan kadar penambahan plastik 0,45%	<ul style="list-style-type: none"> ● Menggunakan jenis plastik PET ● Jenis aspal dengan penetrasi 60/70 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lapis Aspal yang digunakan merupakan Lapis Aspal Beton (Laston) ● Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 0,15%, 0,30%, 0,45%, dan 0,60% dari berat agregat. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lapis Aspal yang digunakan merupakan Lastaston Lapis Pondasi (HRS-Base) ● Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari total berat aspal.
2	Prameswari et al. (2016) Pengaruh Pemanfaatan PET pada Laston Lapis Pengikat Terhadap Parameter Marshall.	Kadar penambahan PET yang memenuhi keenam persyaratan baik karakteristik marshall dan volumetrik campurannya adalah kadar 2%.	<ul style="list-style-type: none"> ● Menggunakan jenis plastik PET ● Jenis aspal dengan penetrasi 60/70 ● Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10% dari total berat aspal. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lapis Aspal yang digunakan merupakan Laston Lapis Pengikat ● Variasi kadar aspal yang digunakan 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lapis Aspal yang digunakan merupakan Lastaston Lapis Pondasi (HRS-Base) ● Variasi kadar aspal bergantung pada rentang hasil dari persentase bitumen (Pb).
3	Widodo et al. (2016) Pengaruh Penambahan Botol Plastik <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) Dalam Campuran Laston-WC Terhadap Parameter Marshall.	Pada campuran PET ini dapat digunakan pada kelas jalan kolektor.	<ul style="list-style-type: none"> ● Menggunakan jenis plastik PET ● Jenis aspal dengan penetrasi 60/70 ● Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, dan 6% dari total berat aspal. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lapis Aspal yang digunakan merupakan Laston WC ● Variasi kadar aspal yang digunakan 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lapis Aspal yang digunakan merupakan Lastaston Lapis Pondasi (HRS-Base) ● Variasi kadar aspal bergantung pada rentang hasil dari persentase bitumen (Pb).
4	Rahmawati et al. (2015) Perbandingan Pengaruh Penambahan Plastik <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE) Dalam Laston-WC dan Lastaston-WC Terhadap Karakteristik Marshall.	penggunaan HDPE memberikan pengaruh pada campuran laston dan lastaston terhadap berbagai karakteristik Marshall, yakni untuk nilai stabilitas, kelelahan, VIM, VFA, MQ cenderung mengalami peningkatan, sedangkan nilai Flow dan VMA cenderung mengalami penurunan.	<ul style="list-style-type: none"> ● Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, dan 6% dari total berat aspal. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Menggunakan jenis plastik HDPE ● Lapis Aspal yang digunakan merupakan Laston WC dan Lastaston WC ● Jenis aspal dengan penetrasi 80/100 ● Kadar aspal yang digunakan adalah 6,5% untuk Laston, dan 7,5% untuk Lastaston. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Menggunakan jenis plastik PET ● Lapis Aspal yang digunakan merupakan Lastaston Lapis Pondasi (HRS-Base) ● Jenis aspal dengan penetrasi 60/70 ● Variasi kadar aspal bergantung pada rentang hasil dari persentase bitumen (Pb).
5	Moghaddam et al. (2013) Utilization of Waste Plastic Bottles in Asphalt Mixture.	Dapat meningkatkan nilai stabilitas daripada yang tidak ditambahkan PET. Nilai stabilitas naik saat ditambahkan PET dalam persentase yang sedikit, dan menurun saat ditambahkan PET dalam jumlah yang banyak. Dengan menambahkan persentase PET yang banyak, menghasilkan nilai flow yang tinggi.	<ul style="list-style-type: none"> ● Menggunakan jenis plastik PET 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lapis Aspal yang digunakan merupakan Stone Mastic Asphalt (SMA). ● Jenis aspal dengan penetrasi 80/100 ● Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6%, dan 1% dari berat agregat. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lapis Aspal yang digunakan merupakan Lastaston Lapis Pondasi (HRS-Base) ● Jenis aspal dengan penetrasi 60/70 ● Kadar plastik yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari total berat aspal.

BAB III METODOLOGI

3.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian merupakan garis metode berisi dasar dan alur pemikiran yang digunakan untuk melaksanakan tahapan penelitian. Adanya kerangka penelitian juga dapat meminimalkan kesalahan yang terjadi dalam penelitian. Kerangka penelitian dapat dilihat dari bagan alir dibawah ini :





Bagan 3.1 Alur Penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan agar penelitian lebih terarah. Studi literatur harus dilakukan dari awal penelitian hingga akhir penelitian. Hal ini dilakukan agar sebelum penelitian dimulai, penulis mendapatkan gambaran hal – hal apa saja yang harus dilakukan, dan penulis mendapatkan acuan berupa spesifikasi serta penelitian apa yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Sehingga, diharapkan dari studi literatur ini, dapat memudahkan penulis dalam pelaksanaan penelitian Literatur yang digunakan harus sesuai dengan penelitian yang akan dilakukan.

Pada penelitian ini, literatur yang digunakan meliputi spesifikasi material yakni agregat, aspal, filler, serta additive. Literatur mengenai jenis Lataston Lapis Pondasi juga perlu ditinjau lebih jauh. Inovasi penambahan limbah plastik PET pada lapisan aspal lain dari peneliti sebelumnya juga harus dipelajari agar penulis mengetahui apa saja kelemahan serta kelebihan penggunaan PET pada campuran aspal. Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Peraturan Menteri PU Bina Marga mengenai lapisan aspal, Standart Nasional Indonesia yang berhubungan dengan penelitian, buku – buku yang menunjang penelitian, serta jurnal – jurnal yang diperoleh di Internet.

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini dibutuhkan persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian. Bahan – bahan yang dibutuhkan adalah :

a. Limbah botol plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET)



Gambar 3.1 Limbah botol plastik PET tipe 1

Limbah botol plastik yang digunakan merupakan limbah botol plastik dengan tipe 1 yakni *Polyethylene Terephthalate* (PET) . Limbah botol plastik ini kemudian dicacah menggunakan mesin pencacah plastik. Hasil cacahan berupa plastik dengan potongan – potongan kecil. Limbah cacahan botol plastik ini diperoleh dari pengepul sampah yang berada di daerah Keputih, Kota Surabaya.

b. Agregat Kasar dan Agregat Halus



Gambar 3.2 Agregat kasar dan halus

Pada penelitian ini digunakan beberapa jenis agregat yang meliputi agregat kasar ukuran (10-10 mm), dan (5-10 mm) serta abu batu dengan ukuran (0-5 mm). Agregat ini diperoleh dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP) dari Suramadu, Pulau Madura. Kemudian sebelum digunakan, agregat ini harus di goreng terlebih dahulu hingga beratnya tetap. Pada penelitian ini tidak digunakan filler dikarenakan pada saat pengujian analisa saringan dan combined aggregate 3 material tersebut sudah memenuhi spesifikasi.

c. Aspal Penetrasi 60/70



Gambar 3.3 Aspal penetrasi 60/70

Pada penelitian ini digunakan aspal dengan penetrasi 60/70. Aspal ini kemudian akan di uji sebelum nantinya akan dijadikan campuran pembuatan benda uji sesuai dengan spesifikasi Lataston Lapis Pondasi.

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

a. Alat Uji Aspal

Dalam pengujian aspal, dibutuhkan alat uji yang meliputi :

- Alat uji penetrasi

Alat yang digunakan dalam uji penetrasi meliputi cawan, termometer, penetrometer, dan jarum penetrasi.

- Alat uji titik lembek

Alat yang digunakan dalam uji titik lembek meliputi termometer, cincin kuningan, bola baja (diameter 9,35 mm; berat 3,45 sampai 3,55 gram), alat pengarah bola, bejana gelas, dudukan benda uji, dan penjepit.

- Alat uji titik nyala dan titik bakar

Alat yang digunakan dalam uji titik nyala dan titik bakar meliputi kompor listrik, cleveland open cup, termometer, penjepit termometer, nyala penguji, dan stopwatch.

- Alat uji kehilangan berat

Alat yang digunakan dalam uji kehilangan berat meliputi termometer, oven, cawan, serta neraca analitik.

- Alat uji daktilitas

Alat yang digunakan dalam uji daktilitas meliputi cetakan kuningan, bak perendam, termometer, mesin uji yang dapat menjaga sampel tetap terendam, dan alat pemanas.

- Alat uji berat jenis

Alat yang digunakan dalam uji berat jenis meliputi piknometer, oven, timbangan elektrik, dan corong kaca.

b. Alat Uji Agregat

Dalam pengujian agregat, dibutuhkan alat uji yang meliputi :

- Alat uji analisa saringan

Alat yang digunakan dalam uji analisa saringan meliputi satu set saringan (ukuran $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", no. 4, no. 8, no. 30, no. 50, no. 100, no. 200), neraca analitik, oven yang dilengkapi pengatur suhu, loyang, mesin penggoyang saringan, dan sendok.

- Alat uji berat jenis

Alat yang digunakan dalam uji berat jenis agregat meliputi timbangan kapasitas 5 kg, penggantung keranjang, keranjang kawat, bak perendam, oven, alat pemisah, saringan no. 4, dan pan.

- Alat uji keausan

Alat yang digunakan dalam uji keausan meliputi mesin abrasi los angeles, bola-bola baja (diameter rata – rata 4,68 cm dan berat masing – masing antara 400 sampai 440 gram), saringan no. 12, dan neraca.

- Alat uji penyerapan terhadap air

Alat yang digunakan dalam uji penyerapan terhadap air meliputi timbangan kapasitas 5 kg, penggantung keranjang, keranjang kawat, bak perendam, oven, alat pemisah, saringan no. 4, dan pan.

c. Alat Uji Bahan *Additive*

Dalam pengujian bahan additive, dibutuhkan alat uji yang meliputi :

- Alat uji titik leleh

- Alat uji berat jenis

d. Alat Uji *Marshall*

Dalam pengujian Marshall, dibutuhkan alat uji yang meliputi :

- Alat tekan Marshall yaitu kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji kapasitas (5000 lbs) yang telah dilengkapi arloji pengukur flow meter
- Alat cetak benda uji bentuk silinder, dengan dimensi diameter 4 inc dan tinggi 3 inc
- Marshall automatic compactor, untuk pemadatan campuran
- Ekstruder, untuk mengeluarkan benda uji setelah pemadatan
- Bak perendam
- Alat penunjang meliputi wajan penggorengan, kompor pemanas, thermometer, pengaduk, sarung tangan, kain lap, timbangan, ember, jangka sorong atau penggaris, spidol atau tipe-x untuk menandai benda uji

3.4 Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material dilakukan untuk menguji material berupa aspal, agregat, filler, serta additive telah memenuhi spesifikasi atau tidak. Jika material sudah memenuhi spesifikasi fisik serta spesifikasi Lataston Lapis Pondasi, maka bisa dilakukan tahap selanjutnya, namun jika tidak, harus dilakukan pengecekan ulang, atau mengganti material yang sudah ada. Pemeriksaan material meliputi :

3.4.1 Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan merupakan aspal penetrasi 60/70. Aspal ini kemudian di uji agar dapat diketahui memenuhi spesifikasi atau tidak. Jenis pengujian aspal dan tata caranya meliputi :

a. Uji penetrasi

Uji penetrasi menggunakan peraturan SNI 06-2456-1991. Dimana metode pelaksanaan uji penetrasi yakni pertama dilakukan pemanasan aspal hingga cair kemudian menuangkannya kedalam tin box. Setelah itu direndam dalam air selama 1-1,5 jam dalam suhu konstan 15°C - 30°C . Selanjutnya benda uji dimasukkan kedalam tempat air dan diletakkan dibawah alat penetrasi yang telah dipasang jarum dengan pemberat total 100 gr. Jarum kemudian diturunkan hingga menyentuh permukaan benda uji, kemudian diatur hingga pentrometer ada di angka nol. Selanjutnya mulailah penetrasi hingga penetrometer berputar dan catatlah angka penetrasinya. Pengujian ini dilakukan minimum 5x test dalam contoh benda uji yang sama.

b. Uji titik lembek

Uji titik lembek menggunakan peraturan SNI 06-2434-1991. Pada pelaksanaan uji titik lembek, hal pertama yang harus dilakukan adalah memanaskan aspal hingga cair. Kemudian menyiapkan 2 buah cincin dan letakkan diatas pelat kuningan yang telah dilapisi sabun. Tuangkan aspal cair kedalam 2 cincin tersebut. Setelah dingin, pasang dan aturlah kedua benda uji diatas kedudukannya dan letakkan pengarah bola diatasnya, kemudian masukkan seluruh peralatan tersebut kedalam bejana gelas dan

isilah dengan air dengan suhu 5°C . Letakkan termometer diantara kedua benda uji. Setelah diperiksa dan diatur jarak pelatnya, letakkan bola baja diatas masing – masing benda uji. Panaskan gelas hingga kenaikan 5°C per menit. Kemudian catat suhu pada saat setiap bola menyentuh pelat dasar.

c. Uji titik nyala dan titik bakar

Uji titik nyala dan titik bakar menggunakan peraturan SNI 06-2433-1991. Pada pelaksanaan uji titik nyala dan titik bakar, hal pertama yang harus dilakukan adalah memanaskan aspal hingga cair dan tuangkan kedalam cawan cleveland. Kemudian letakkan cawan diatas pelat pemanas dan aturlah sumber pemanas hingga terletak dibawah titik tengah cawan. Letakkan pembakar bunsen dititik tengah cawan, letakkan dan atur termometer tegak lurus diatas benda uji. Nyalakan bunsen dan atur pemanas sehingga kenaikan suhu konstan 15°C per menit sampai suhu 56°C dibawah titik nyala perkiraan. Atur kecepatan pemanasan 5°C - 6°C per menit pada suhu antara 56°C dan 28°C dibawah titik nyala perkiraan. Putar batang nyala bunsen melalui permukaan cawan dalam waktu 1detik, ulangu tiap kenaikan 2°C . Ulangi prosedur tersebut hingga terlihat nyala singkat pada suatu diatas permukaan benda uji, baca temperatur dan catat (titik nyala). Lanjutkan prosedur hingga terlihat nyala agak lama lebih dari 3 detik, baca temperatur dan catat (titik bakar).

d. Uji kehilangan berat

Uji kehilangan berat menggunakan peraturan SNI 06-2441-1991. Pada pelaksanaan uji kehilangan berat, hal pertama yang harus dilakukan adalah memanaskan aspal hingga cair dan tuangkan kedalam tin box. Kemudian dinginkan dengan cara merendamnya dalam air selama $\pm 1,5$ jam. Setelah dingin, timbang benda uji dan catat hasilnya. Selanjutnya panaskan benda uji dalam oven dengan suhu 156°C selama ± 5 jam. Timbang dan catat benda uji yang sudah di Oven. Dinginkan benda uji dalam air, kemudian setelah dingin timbang dan catatlah beratnya. Setelah itu hitunglah kehilangan beratnya.

e. Uji daktilitas

Uji daktilitas menggunakan peraturan SNI 06-2432-1991. Pertama siapkan cetakan daktilitas yang telah dilapisi dengan sabun. Kemudian panaskan aspal hingga cair dan tuangkan kedalam cetakan. Setelah itu direndam dalam air selama 30 menit dalam suhu konstan 25°C . Kemudian lepaskan contoh dari pelat dasar dan sisi – sisi cetakannya. Setelah itu pasang benda uji pada mesin daktilitas dan tarik benda uji secara teratur dengan kecepatan 5 cm per menit sampai benda uji putus. Catatlah hasilnya saat benda uji telah putus.

f. Uji berat jenis

Uji berat jenis menggunakan peraturan SNI 06-2441-1991. Pertama timbang piknometer kosong. Kemudian isilah piknometer dengan air hingga penuh, tutuplah dan timbang beratnya. Setelah itu panaskan aspal hingga cair dan tuangkan kedalam piknometer sampai batas 40 ml. Biarkan piknometer hingga dingin, dan timbang beserta tutupnya.

Kemudian isilah piknometer yang berisi aspal dengan air hingga penuh, tutuplah dan timbang.

3.4.2 Pemeriksaan Agregat

Agregat yang digunakan adalah agregat kasar dan agregat halus. Agregat ini kemudian di uji agar dapat diketahui memenuhi spesifikasi atau tidak. Jenis pengujian agregat dan tata caranya meliputi :

a. Analisa Saringan

Uji analisa saringan menggunakan spesifikasi gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal pada tabel 2.1. Untuk analisa saringan agregat kasar, harus disiapkan 2500 gram agregat yang telah dikeringkan dan bagi menjadi 2. Kemudian susun saringan dari ukuran paling besar hingga paling kecil, dan pan berada paling bawah. Masukkan agregat yang sudah disiapkan kedalam saringan paling atas dan tutuplah. Guncang menggunakan mesin selama 15 menit. Setelah berhenti, timbang setiap agregat yang tertahan pada masing – masing saringan dan catat.

b. Uji berat jenis

Uji berat jenis agregat kasar menggunakan peraturan SNI 1969-2008 dan agregat halus menggunakan peraturan SNI 1970-2008. Untuk penyerapan agregat halus, pertama harus menimbang piknometer kosong. Kemudian timbang piknometer yang diisi air hingga batasnya. Setelah itu harus disiapkan agregat halus kondisi SSD dengan cara pengeujian beberapa kali pada kerucut. Jika sudah mencapai kondisi SSD, maka ambil sebanyak 500 gram. Setelah itu masukkan kedalam piknometer

yang sudah ditimbang beratnya. Kemudian isilah dengan air hingga 90% isi piknometer, putar sambil diguncang untuk mengeluarkan udaranya. Tambahkan air lagi hingga tanda batas, kemudian timbang. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven kemudian dinginkan dan timbang beratnya.

Untuk penyerapan agregat kasar, timbang 2000 gram agregat kasar kemudian rendam dalam air selama minimal 4 x 24 jam. Keluarkan benda uji dalam air, dan masukkan kedalam keranjang dan timbanglah dalam air. Setelah itu keluarkan benda uji dan lap permukaannya hingga kondisi kering permukaan (SSD) dan timbanglah.

c. Uji keausan agregat

Uji keausan agregat menggunakan peraturan SNI 2417-2008. Pertama harus menentukan keausan agregat dengan cara apa. Disini penulis menggunakan cara B, dimana harus disiapkan benda uji yang lolos ayakan $\frac{3}{4}$ " dan tertahan ayakan $\frac{3}{8}$ " dengan jumlah bola baja 11 dan jumlah putaran 500. Kemudian siapkan agregat tertahan ayakan $\frac{1}{2}$ " sebanyak 2500 gram dan agregat tertahan ayakan $\frac{3}{8}$ " sebanyak 2500 gram. Masukkan agregat dan bola baja kedalam mesin *los angeles*. Putar dengan jumlah putaran sebanyak 500 putaran. Selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan saringan no. 12. Timbang dan catatlah benda uji yang tertahan saringan no. 12.

d. Uji penyerapan terhadap air

Uji penyerapan terhadap air menggunakan peraturan SNI 1969-2008.

3.4.3 Pemeriksaan *Additive*

Bahan tambah plastik yang digunakan dicacah dengan ukuran 50 mm x 50 mm kemudian dilakukan pengujian berupa uji titik leleh dan uji berat jenis.

3.5 Pembuatan Benda Uji Campuran

Pembuatan benda uji campuran dilakukan setelah semua material telah memenuhi spesifikasi baik spesifikasi fisik dan spesifikasi Lataston Lapis Pondasi. Pembuatan benda uji dilakukan 2 kali. Pembuatan benda uji yang pertama yakni benda uji tanpa campuran PET untuk mendapatkan kadar aspal optimum. Sedangkan benda uji kedua dilakukan dengan campuran PET setelah didapatkan nilai kadar aspal optimum dari pengujian pertama. Pembuatan benda uji dilakukan dalam beberapa tahap. Tahapan dalam pembuatan benda uji meliputi :

3.5.1 Menentukan Gradasi Campuran Agregat

Gradasi campuran agregat yang digunakan adalah gradasi campuran untuk Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base). Hasil dari analisa saringan kemudian diolah untuk dilakukan perancangan proporsi dari masing – masing fraksi agregat yang tersedia untuk mendapatkan agregat campuran sesuai dengan ketentuan HRS-Base. Ada beberapa cara untuk menentukan gradasi campuran agregat, namun yang digunakan dalam penelitian ini adalah cara diagonal dan analitis. Cara diagonal digunakan untuk perkiraan awal proporsi campuran, sedangkan cara analitis digunakan berdasarkan trial & error untuk membuat proporsinya lebih valid. Setelah ditentukan dan didapat komposisi masing – masing

agregat, dilakukan proses mengayak agregat sesuai dengan nomor saringan yang dibutuhkan.

3.5.2 Merencanakan Campuran Aspal

Menentukan kadar aspal total dalam campuran, yaitu kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir – butir agregat, mengisi pori antar agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk kedalam pori masing – masing butir agregat. Dalam merencanakan campuran aspal, harus dilakukan perhitungan perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% FF) + \text{Konstanta}$$

Dimana ,

Pb : Kadar aspal tengah atau ideal, (persen terhadap berat campuran)

CA: Persen agregat tertahan saringan No.8

FA: Persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200

FF : (*filler*), Persen agregat minimal 75% lolos saringan No.200

K : Nilai konstanta

(untuk nilai konstanta digunakan 2,0 – 3,0 untuk Lataston)

Setelah dilakukan perhitungan kadar aspal optimum (Pb), maka harus dilakukan perkiraan awal penyerapan aspal yang diperoleh dari nilai penyerapan air agregat. Kemudian hasil Pb dijumlahkan dengan hasil penyerapan aspal dan akan didapatkan nilai perkiraan kadar aspalnya. Nilai perkiraan kadar aspal ini

kemudian dibuat menjadi beberapa variasi yakni (Pb-1), (Pb-0,5), Pb, (Pb+0,5), dan (Pb+1).

3.5.3 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan dalam 2 tahapan yakni, tahap pertama membuat benda uji untuk menentukan KAO (Kadar Aspal Optimum) dan tahap yang kedua adalah pembuatan benda uji dengan penambahan PET.

a. Pembuatan benda uji untuk menentukan KAO

Setelah dilakukan perencanaan gradasi campuran agregat serta campuran aspal, maka dilakukan pembuatan benda uji dengan tahapan sebagai berikut :

- Setelah didapat nilai kadar aspal dan semua data telah didapatkan, hal yang harus dilakukan adalah menghitung berat aspal dan berat masing-masing agregat. Penimbangan agregat dilakukan sesuai dengan perhitungan berat agregat yang diperlukan berdasarkan variasi kadar aspal. Berat masing – masing benda uji adalah 1200 gr.
- Memanaskan aspal untuk pencampuran menggunakan kompor pemanas, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap terjaga (konstan). Kemudian dilakukan penimbangan aspal cair sesuai dengan perhitungan berat aspal menggunakan neraca.
- Selanjutnya agregat dipanaskan dan diaduk di atas kompor pemanas pada suhu 155°C.
- Setelah agregat telah tercampur pada suhu 155°C, campuran agregat yang telah dipanaskan di campurkan ke dalam aspal panas.

- Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dan letakkan cetakan di atas landasan pemadatan dan tahan dengan penahan cetakan.
- Letakkan selembat kertas saring yang sudah digunting menurut ukuran cetakan ke dasar cetakan. Oleskan oli pada cetakan agar aspal tidak melekat.
- Masukkan seluruh campuran kedalam cetakan dan tusuk – tusuk campuran dengan spatula.
- Lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 50 tumbukan (lalu lintas sedang). Dengan tinggi jatuh 457,2 mm selama pemadatan usahakan tumbukan tegak agar benda uji terbentuk dengan baik. Suhu pemadatan berkisar antara 145°C.
- Lepaskan pelat alas dan leher sambung dari cetakan benda uji. Kemudian dibalikkan dan pasang kembali pelat alas dan leher sambung pada cetakan yang dibalikkan tadi.
- Kemudian dilakukan penumbukan dengan jumlah tumbukan yang sama terhadap permukaan benda uji yang sudah dibalikkan tersebut.
- Lepaskan kepingan alat dan pasanglah alat pengeluar benda uji pada permukaan ujungnya.
- Keluarkan dengan hati – hati dan letakkan benda uji diatas permukaan rata dan biarkan selama 24 jam pada suhu ruang.
- Setelah dingin, maka keluarkan benda uji dari cetakan dengan bantuan extruder lalu diberi kode dengan menggunakan tipe-ex atau penanda lain.

- Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering.
- Benda uji direndam dalam air selama 24 jam pada suhu ruang supaya jenuh.
- Ditimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air.
- Kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain lap sampai permukaan kering dan didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (saturated surface dry, SSD) kemudian ditimbang.

b. Pembuatan benda uji dengan campuran PET

Setelah didapatkan nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) pada pengujian benda uji pertama tanpa penambahan PET, maka dilakukan pembuatan benda uji dengan penambahan PET dengan tahapan sebagai berikut :

- Setelah didapat nilai kadar aspal optimum dan semua data telah didapatkan, hal yang harus dilakukan adalah menghitung berat aspal, berat PET dan berat masing – masing agregat. Penimbangan agregat dilakukan sesuai dengan perhitungan berat agregat yang diperlukan berdasarkan variasi kadar plastik. Berat masing – masing benda uji adalah 1200 gr.
- Memanaskan aspal untuk pencampuran menggunakan kompor pemanas, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap terjaga (konstan). Kemudian dilakukan penimbangan aspal cair sesuai dengan perhitungan berat aspal menggunakan neraca. Aspal dipanaskan hingga

mencapai suhu 200°C, kemudian cacahan PET dimasukkan kedalam aspal panas pada suhu 200°C dan di aduk hingga PET meleleh dan homogen.

- Selanjutnya agregat dipanaskan dan diaduk di atas kompor pemanas pada suhu 155°C.
- Setelah agregat telah tercampur pada suhu 155°C, campuran agregat yang telah di panaskan di campurkan ke dalam aspal panas yang telah dicampur PET.
- Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dan letakkan cetakan di atas landasan pemadatan dan tahan dengan penahan cetakan.
- Letakkan selembur kertas saring yang sudah digunting menurut ukuran cetakan ke dasar cetakan. Oleskan oli pada cetakan agar aspal tidak melekat.
- Masukkan seluruh campuran kedalam cetakan dan tusuk – tusuk campuran dengan spatula.
- Lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 50 tumbukan (lalu lintas sedang). Dengan tinggi jatuh 457,2 mm selama pemadatan usahakan tumbukan tegak agar benda uji terbentuk dengan baik. Suhu pemadatan berkisar antara 145°C.
- Lepaskan pelat alas dan leher sambung dari cetakan benda uji. Kemudian dibalikkan dan pasang kembali pelat alas dan leher sambung pada cetakan yang dibalikkan tadi.
- Kemudian dilakukan penumbukan dengan jumlah tumbukan yang sama terhadap permukaan benda uji yang sudah dibalikkan tersebut.

- Lepaskan kepingan alat dan pasanglah alat pengeluar benda uji pada permukaan ujungnya.
- Keluarkan dengan hati – hati dan letakkan benda uji diatas permukaan rata dan biarkan selama 24 jam pada suhu ruang.
- Setelah dingin, maka keluarkan benda uji dari cetakan dengan bantuan extruder lalu diberi kode dengan menggunakan tipe-ex atau penanda lain.
- Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering.
- Benda uji direndam dalam air selama 24 jam pada suhu ruang supaya jenuh.
- Ditimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air.
- Kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain lap sampai permukaan kering dan didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (saturated surface dry, SSD) kemudian ditimbang.



Gambar 3.4 Benda uji dengan penambahan PET

3.6 Pengujian Marshall

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap keelehan (flow) dari

campuran aspal sesuai dengan SNI 06-2489-1991. Berikut langkah-langkah pengujian dengan alat Marshall :

- Keluarkan benda uji dari bak perendam dan letakkan kedalam segmen bawah kepala penekan.
- Pasang segmen atas di atas benda uji, dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji.
- Pasang arloji pengukur alir (flow) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (sleeve) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.
- Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji.
- Atur jam arloji tekan pada kedudukan angka nol.
- Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (stability) yang dicapai.
- Catat nilai alir (flow) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur alir pada saat pembebanan maksimum tercapai.






Gambar 3.5 Benda uji yang telah diuji Marshall

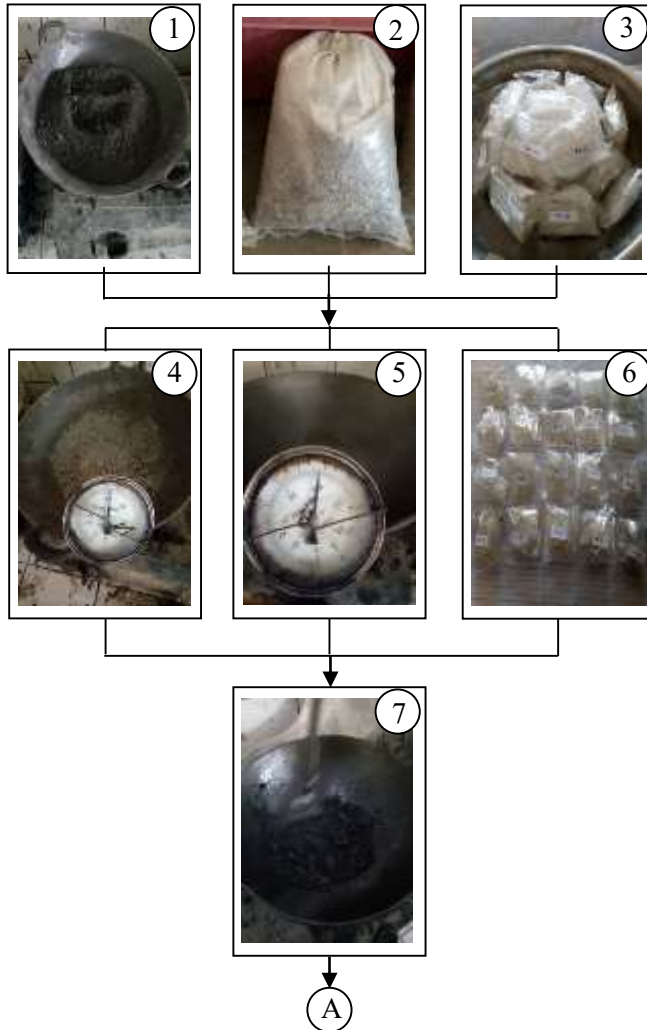
3.7 Tata Cara Pelaksanaan Pencampuran

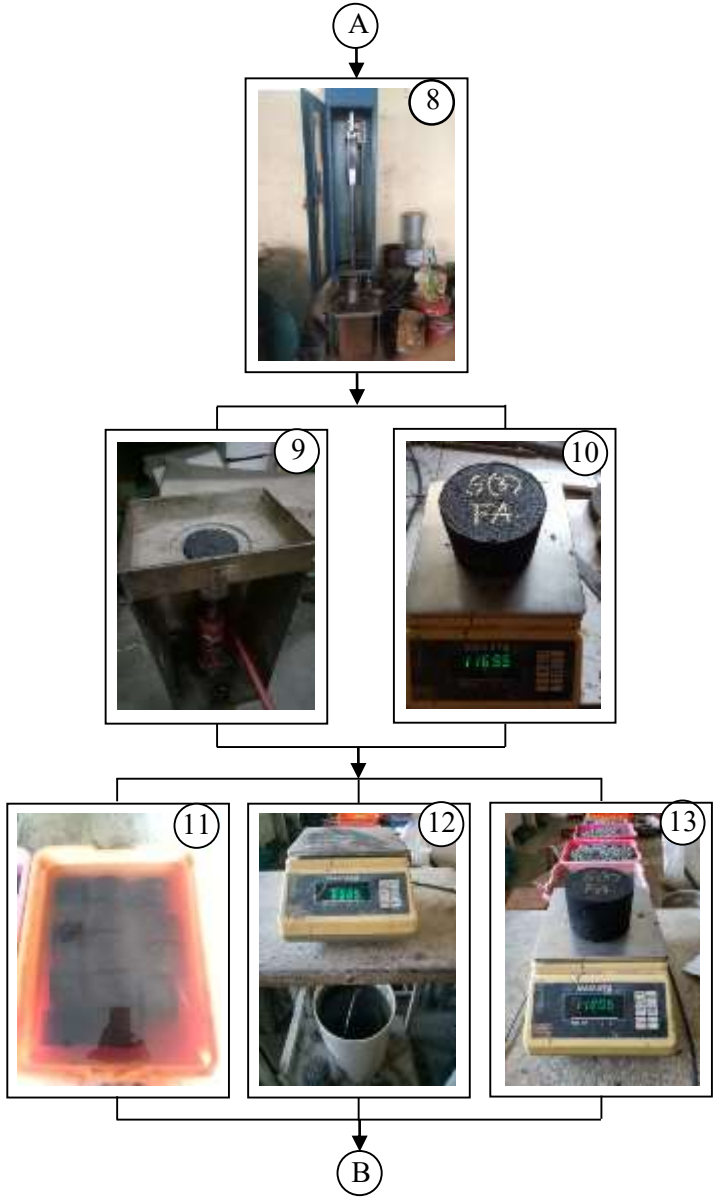
Teknik pencampuran yang digunakan yakni cara basah (wet process), yaitu pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam aspal panas pada suhu campuran sesuai parameter TAIT dan diaduk sampai homogen.

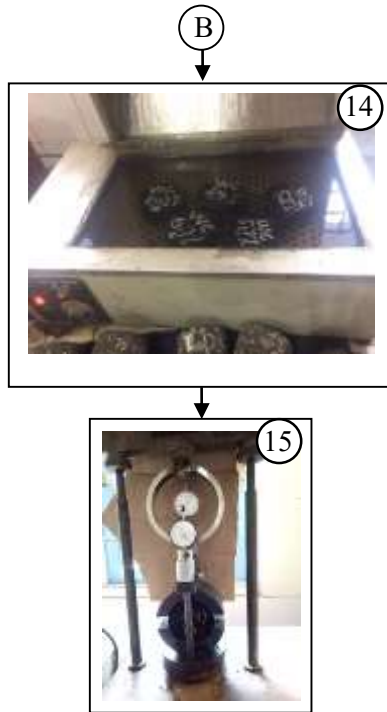
Tabel 3.1 Jumlah total benda uji

No.	Benda Uji	Jumlah	Keterangan
<i>Kadar aspal optimum (KAO)</i>			
1.		15 sampel	<ul style="list-style-type: none"> - Kadar aspal rencana 6,3%, 6,8%, 7,3%, 7,8%, dan 8,3% - Setiap kadar aspal rencana dibuat sebanyak 3 benda uji
<i>Campuran aspal tanpa penambahan PET</i>			
2.		5 sampel	<ul style="list-style-type: none"> - Kadar aspal optimum 7,3% - 5 buah sampel benda uji didapat dari perhitungan (KAO)
<i>Campuran aspal dengan penambahan PET</i>			
3.		20 sampel	<ul style="list-style-type: none"> - Kadar aspal yang digunakan adalah Kadar Aspal Optimum 7,3% dengan variasi plastik 2%, 4%, 6%, dan 8% dari total berat aspal - Setiap variasi plastik dibuat sebanyak 5 benda uji

Proses pembuatan benda uji aspal plastik yang menggunakan metode basah dapat dilihat dalam bagan dibawah ini :







Bagan 3.2 Proses pembuatan benda uji

Tabel 3.2 Keterangan gambar proses pembuatan benda uji

No.	Keterangan gambar
1.	Menggoreng agregat untuk mendapatkan berat kering
2.	Menimbang dan membungkus setiap fraksi agregat sesuai dengan proporsi yang telah ditentukan
3.	Menimbang PET sesuai dengan variasi campuran
4.	Menggoreng agregat yang telah ditimbang hingga suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$
5.	Memanaskan aspal yang telah dituang sesuai berat yang telah ditentukan dengan rentang suhu $\pm 200^{\circ}\text{C}$
6.	Mencampurkan PET yang telah ditimbang kedalam aspal panas dengan suhu $\pm 200^{\circ}\text{C}$ hingga homogen
7.	Mencampurkan agregat yang telah panas kedalam aspal yang telah tercampur PET
8.	Melakukan proses pemadatan benda uji dengan Compactor 2x50 tumbukan
9.	Mengeluarkan benda uji dari mold setelah dingin menggunakan extruder
10.	Menimbang berat benda uji kering
11.	Perendaman benda uji selama 24 jam
12.	Menimbang berat benda uji dalam air
13.	Menimbang berat benda uji dalam kondisi SSD
14.	Merendam benda uji dalam <i>water bath</i> selama ± 30 menit
15.	Pengujian marshall untuk mendapatkan nilai stabalitas dan <i>flow</i>

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui apakah material yang akan digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi spesifikasi atau tidak. Jika material sudah memenuhi spesifikasi fisik serta spesifikasi Lataston Lapis Pondasi, maka bisa dilakukan tahap selanjutnya, namun jika tidak, harus dilakukan pengecekan ulang, atau mengganti material yang sudah ada. Pengujian material yang dilakukan dalam penelitian ini berdasarkan pada acuan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Sedangkan pengujian material yang diujikan meliputi : Sifat agregat (kasar, medium, & halus), pemeriksaan sifat fisik aspal pen. 60/70, dan pemeriksaan additive.

4.1.1 Analisa Saringan Agregat

Analisa Saringan Agregat adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir. Dari analisa saringan, kemudian dapat menentukan ukuran butiran/gradasi dari agregat. Pada penelitian ini digunakan 3 jenis agregat yakni agregat ukuran 10-10 mm, 5-10 mm, dan 0-5 mm. Sedangkan pengujian analisa saringan dilakukan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan hasil yang valid. Hasil dari uji analisa saringan terlampir sebagai berikut :

c. Agregat Kasar (CA) 10-10 mm

Tabel 4.1 Analisa Saringan Agregat Kasar (10-10 mm)

Nomor Saringan	Berat Tertahan (gram)			Rata - Rata Berat Tertahan (gram)	Jumlah Berat Tertahan (gram)	Jumlah % Tertahan	Jumlah % Lolos
	I	II	III				
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	76.0	52.0	55.0	61.0	61.0	2.4	97.6
3/8"	1054.0	1048.0	1218.5	1106.8	1167.8	46.7	53.3
No. 4	1246.0	1264.0	1095.0	1201.7	2369.5	94.8	5.2
No. 8	104.0	115.5	112.5	110.7	2480.2	99.2	0.8
No. 16	0.0	0.0	0.0	0.0	2480.2	99.2	0.8
No. 30	0.0	0.0	0.0	0.0	2480.2	99.2	0.8
No. 50	0.0	0.0	0.0	0.0	2480.2	99.2	0.8
No. 100	0.0	0.0	0.0	0.0	2480.2	99.2	0.8
No.200	0.0	0.0	0.0	0.0	2480.2	99.2	0.8
Pan	0.0	0.0	0.0	0.0	2480.2	99.2	0.8

- Berat agregat sebelum dilakukan penyaringan
(W1) = 2500 gram
- Berat agregat setelah dilakukan penyaringan
(W2) = 2480,2 gram
- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan :
 - Saringan $\frac{1}{2}$ " = Jumlah berat tertahan saringan $\frac{3}{4}$ " + Rata-rata berat tertahan saringan $\frac{1}{2}$ "

$$= (0 + 61) \text{ gram} = 61 \text{ gram}$$
 - Saringan $\frac{3}{8}$ " = Jumlah berat tertahan saringan $\frac{1}{2}$ " + Rata-rata berat tertahan saringan $\frac{3}{8}$ "

$$= (61 + 1106,8) \text{ gram}$$

$$= 1167,8 \text{ gram}$$

- Contoh perhitungan jumlah % tertahan :

$$\begin{aligned} \text{- Saringan } \frac{1}{2}'' &= \frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{\sum \text{Jumlah Berat Tertahan}} \times 100\% \\ &= \frac{61}{2500} \times 100\% = 2,4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Saringan } \frac{3}{8}'' &= \frac{1167,8}{2500} \times 100\% \\ &= 46,7\% \end{aligned}$$

- Contoh perhitungan jumlah % lolos :

$$\begin{aligned} \text{- Saringan } \frac{1}{2}'' &= 100\% - \text{Jumlah \% Tertahan Saringan } \frac{1}{2}'' \\ &= 100\% - 2,4\% = 97,6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{- Saringan } \frac{3}{8}'' &= 100\% - \text{Jumlah \% Tertahan Saringan } \frac{3}{8}'' \\ &= 100\% - 46,7\% = 53,3\% \end{aligned}$$

d. Agregat Sedang (MA) 5-10 mm

Tabel 4.2 Analisa Saringan Agregat Sedang (5-10 mm)

Nomor Saringan	Berat Tertahan (gram)			Rata - Rata Berat Tertahan (gram)	Jumlah Berat Tertahan (gram)	Jumlah % Tertahan	Jumlah % Lolos
	I	II	III				
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	100.0
3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	100.0
1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	100.0
3/8"	76.0	39.0	53.0	56.0	56.0	2.2	97.8
No. 4	1054.0	1556.5	1437.5	1349.3	1405.3	56.2	43.8
No. 8	1246.0	866.0	949.0	1020.3	2425.7	97.0	3.0
No. 16	104.0	26.5	45.5	58.7	2484.3	99.4	0.6
No. 30	0.0	0.0	0.0	0.0	2484.3	99.4	0.6
No. 50	0.0	0.0	0.0	0.0	2484.3	99.4	0.6
No. 100	0.0	0.0	0.0	0.0	2484.3	99.4	0.6
No.200	0.0	0.0	0.0	0.0	2484.3	99.4	0.6
Pan	0.0	0.0	0.0	0.0	2484.3	99.4	0.6

- Berat agregat sebelum dilakukan penyaringan
(W1) = 2500 gram
- Berat agregat setelah dilakukan penyaringan
(W2) = 2484,3 gram
- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan :
 - Saringan $\frac{3}{8}$ " = Jumlah berat tertahan saringan $\frac{1}{2}$ " + Rata – rata berat tertahan saringan $\frac{3}{8}$ "

$$= (0 + 56) \text{ gram} = 56 \text{ gram}$$
 - Saringan No.4 = Jumlah berat tertahan saringan $\frac{3}{8}$ " + Rata–rata berat tertahan saringan No.4

$$= (56 + 1349,3) \text{ gram}$$

$$= 1405,3 \text{ gram}$$
- Contoh perhitungan jumlah % tertahan :
 - Saringan $\frac{3}{8}$ " = $\frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{\sum \text{Jumlah Berat Tertahan}} \times 100\%$

$$= \frac{56}{2500} \times 100\% = 2,2\%$$
 - Saringan No.4 = $\frac{1405,3}{2500} \times 100\%$

$$= 56,2\%$$
- Contoh perhitungan jumlah % lolos :
 - Saringan $\frac{3}{8}$ " = $100\% - \text{Jumlah \% Tertahan Saringan } \frac{3}{8}$ "

$$= 100\% - 2,2\% = 97,8\%$$
 - Saringan No.4 = $100\% - \text{Jumlah \% Tertahan pada Saringan No.4}$

$$= 100\% - 56,2\% = 43,8\%$$

e. Agregat Halus (FA) 0-5 mm

Tabel 4.3 Analisa Saringan Agregat Halus (0-5 mm)

Nomor Saringan	Berat Tertahan (gram)			Rata - Rata Berat Tertahan (gram)	Jumlah Berat Tertahan (gram)	Jumlah % Tertahan	Jumlah % Lolos
	I	II	III				
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	100.0
3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	100.0
1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	100.0
3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	100.0
No. 4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	100.0
No. 8	202.0	298.5	274.5	250.3	250.3	16.7	83.3
No. 16	404.0	449.0	417.0	423.3	673.6	44.9	55.1
No. 30	246.0	239.0	243.5	242.5	916.1	61.1	38.9
No. 50	226.0	186.0	203.5	206.0	1122.1	74.8	25.2
No. 100	146.0	109.0	131.5	127.5	1249.6	83.3	16.7
No.200	84.0	60.0	62.5	72.0	1321.6	88.1	11.9
Pan	182.0	156.5	165.0	173.5	1495.1	99.7	0.3

- Berat agregat sebelum dilakukan penyaringan
(W1) = 1500 gram
- Berat agregat setelah dilakukan penyaringan
(W2) = 1495,1 gram
- Contoh perhitungan jumlah berat tertahan :
 - Saringan No.8 = Jumlah berat tertahan saringan No.4 + Rata – rata berat tertahan saringan No.8

$$= (0 + 250,3) \text{ gram}$$

$$= 250,3 \text{ gram}$$
 - Saringan No.16 = Jumlah berat tertahan saringan No.8 + Rata – rata berat tertahan saringan No.16

$$= (250,3 + 423,3) \text{ gram}$$

$$= 673,6 \text{ gram}$$

- Contoh perhitungan jumlah % tertahan :
 - Saringan No.8 = $\frac{\text{Jumlah Berat Tertahan}}{\sum \text{Jumlah Berat Tertahan}} \times 100\%$
 $= \frac{250,3}{1500} \times 100\% = 16,7\%$
 - Saringan No.16 = $\frac{673,6}{1500} \times 100\% = 44,9\%$
- Contoh perhitungan jumlah % lolos :
 - Saringan No.8 = 100% - Jumlah % Tertahan
 Saringan No.8
 $= 100\% - 16,7\% = 83,3\%$
 - Saringan No.16 = 100% - Jumlah % Tertahan
 Saringan No.16
 $= 100\% - 44,9\% = 55,1\%$

4.1.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat pada penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan air agregat. Pada penelitian ini digunakan 3 jenis agregat yakni agregat ukuran 10-10 mm, 5-10 mm, dan 0-5 mm. Sedangkan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat ini dilakukan sebanyak 3 kali. Namun untuk mendapatkan hasil yang valid, penulis hanya melampirkan 2 data karena data ke 3 tidak valid. Hasil dari uji berat jenis dan penyerapan air agregat terlampir sebagai berikut :

a. Agregat Kasar (CA) 10-10 mm

Tabel 4.4 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (10-10 mm)

AGREGAT KASAR (CA) 10-10 mm				
Data Hasil Pengujian	Sample (gram)			Rata - Rata
	I	II	III	
Berat benda uji kering (Bk)	2000	2000	2000	2000.0
Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	2020.5	2024	2018	2020.8
Berat benda uji dalam air (Ba)	1274	1290.5	1281	1281.8
Perhitungan Berat Jenis				
Berat jenis curah (Bulk Specific Gravity)	2.706			
Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	2.735			
Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)	2.785			
Penyerapan Air (%)	1.042			

- Berat jenis curah (Bulk Specific Gravity)

$$\frac{Bk}{(Bj - Ba)} = \frac{2000 \text{ gram}}{(2020,8 - 1281,8) \text{ gram}} = 2,706$$

- Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)

$$\frac{Bj}{(Bj - Ba)} = \frac{2020,8 \text{ gram}}{(2020,8 - 1281,8) \text{ gram}} = 2,735$$

- Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)

$$\frac{Bk}{(Bk - Ba)} = \frac{2000 \text{ gram}}{(2000 - 1281,8) \text{ gram}} = 2,785$$

- Penyerapan Air

$$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% = \frac{(2020,8 - 2000) \text{ gram}}{2000 \text{ gram}} \times 100\% = 1,042\%$$

b. Agregat Sedang (MA) 5-10 mm

Tabel 4.5 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Sedang (5-10 mm)

AGREGAT SEDANG (MA) 5-10 mm				
Data Hasil Pengujian	Sample (gram)			Rata - Rata
	I	II	III	
Berat benda uji kering (Bk)	2000	2000	2000	2000.0
Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	2012	2011.5	2013.5	2012.3
Berat benda uji dalam air (Ba)	1298.5	1302	1302.5	1301.0
Perhitungan Berat Jenis				
Berat jenis curah (Bulk Specific Gravity)	2.812			
Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	2.829			
Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)	2.861			
Penyerapan Air (%)	0.617			

- Berat jenis curah (Bulk Specific Gravity)

$$\frac{Bk}{(Bj - Ba)} = \frac{2000 \text{ gram}}{(2012,3 - 1301) \text{ gram}} = 2,812$$

- Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)

$$\frac{Bj}{(Bj - Ba)} = \frac{2012.3 \text{ gram}}{(2012,3 - 1301) \text{ gram}} = 2,829$$

- Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)

$$\frac{Bk}{(Bk - Ba)} = \frac{2000 \text{ gram}}{(2000 - 1301) \text{ gram}} = 2,861$$

- Penyerapan Air

$$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% = \frac{(2012,3 - 2000) \text{ gram}}{2000 \text{ gram}} \times 100\% = 0,617\%$$

c. Agregat Halus (FA) 0-5 mm

Tabel 4.6 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (0-5 mm)

AGREGAT HALUS (FA) 0-5 mm			
Data Hasil Pengujian	Sample (gram)		Rata - Rata
	I	II	
Berat benda uji SSD	500	500	500.0
Berat picnometer + air (B)	653.5	653.5	653.5
Berat picnometer + Benda uji + Air (Bt)	971	970.5	970.8
Berat benda uji kering oven (Bk)	492	495.5	493.75
Perhitungan Berat Jenis			
Berat jenis curah (Bulk Specific Gravity)	2.702		
Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	2.736		
Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)	2.797		
Penyerapan Air (%)	1.266		

- Berat jenis curah (Bulk Specific Gravity)

$$\frac{Bk}{(B + SSD - Bt)} = \frac{493,75 \text{ gram}}{(653,5 + 500 - 970,8) \text{ gram}} = 2,702$$

- Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)

$$\frac{SSD}{(B + SSD - Bt)} = \frac{500 \text{ gram}}{(653,5 + 500 - 970,8) \text{ gram}} = 2,736$$

- Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)

$$\frac{Bk}{(B + Bk - Bt)} = \frac{493,75 \text{ gram}}{(653,5 + 493,75 - 970,8) \text{ gram}} = 2.797$$

- Penyerapan Air

$$\frac{SSD - Bk}{Bk} \times 100\% = \frac{500 \text{ gram} - 493,75 \text{ gram}}{493,75 \text{ gram}} \times 100\% = 1,266 \%$$

4.1.3 Keausan Agregat

Daya Tahan Agregat adalah ketahanan agregat untuk tidak hancur/pecah oleh pengaruh mekanis (Degradasi) ataupun kimia (Disintegrasi). Degradasi didefinisikan sebagai pelapukan mekanis yang diberikan pada waktu penimbunan, pemadatan ataupun beban lalu

lintas. Dengan Mesin Los Angeles, hal yang dapat diuji adalah karena pengaruh Mekanis (Degradasi) saja. Pada pengujian ini digunakan cara B dengan menggunakan benda uji yang lolos saringan $\frac{3}{4}$ " dan tertahan saringan $\frac{3}{8}$ ", serta jumlah bola 11 buah dan jumlah putaran sebanyak 500. Hasil dari uji keausan agregat terlampir sebagai berikut :

- Berat agregat tertahan ayakan $\frac{3}{8}$ " = 2500 gram
- Berat agregat tertahan ayakan $\frac{1}{2}$ " = 2500 gram
- Berat benda uji (a) = 5000 gram
- Berat benda uji tertahan ayakan No.12 (b) = 4393 gram

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Keausan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\
 &= \frac{5000-4393}{5000} \times 100\% \\
 &= 12,14\%
 \end{aligned}$$

Dari pengujian sifat fisik agregat diatas, maka di dapatkan hasil yang terlampir dalam tabel berikut :

Tabel 4.7 Hasil Uji Sifat Fisik Agregat

No.	Pengujian	Metode	Syarat	Hasil	Keterangan
Agregat Kasar (CA) 10-10 mm					
1	Berat Jenis	SNI 03-1969-1990	$\geq 2,5$	2.706	Memenuhi
2	Penyerapan Air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$	1.042%	Memenuhi
3	Keausan Agregat	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$	12.14%	Memenuhi
Agregat Sedang (MA) 5-10 mm					
1	Berat Jenis	SNI 03-1969-1990	$\geq 2,5$	2.812	Memenuhi
2	Penyerapan Air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$	0.617%	Memenuhi
Agregat Halus (FA) 0-5 mm					
1	Berat Jenis	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2.702	Memenuhi
2	Penyerapan Air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1.266%	Memenuhi

4.1.4 Hasil Pengujian Aspal

Hasil pengujian aspal yang digunakan untuk campuran pada penelitian ini yaitu aspal penetrasi 60/70, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.8 Hasil Uji Karakteristik Aspal

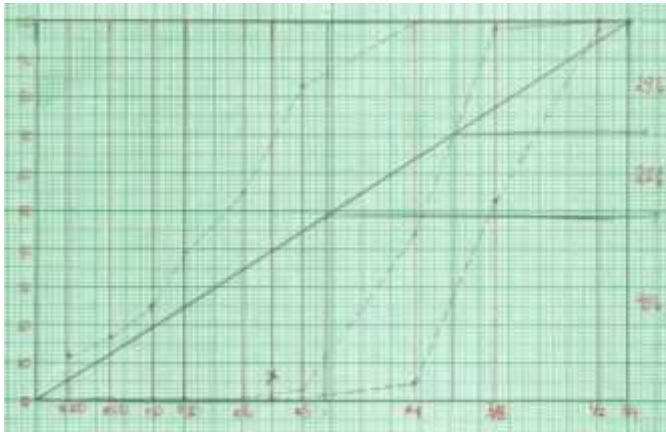
No	Pengujian	Metode	Syarat		Hasil	Keterangan
			Min	Max		
1	Penetrasi	SNI 06-2456-1991	60	79	72.3	Memenuhi
2	Berat Jenis	SNI 06-2432-1991	1	-	1.036	Memenuhi
3	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	51.5	Memenuhi
4	Titik Nyala	SNI 06-2434-1991	200	-	244	Memenuhi
5	Daktilitas	SNI 06-2434-1991	100	-	167	Memenuhi
6	Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0.8	0.188	Memenuhi

4.2 Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan

Perencanaan campuran dengan menggunakan metode Bina Marga dimulai dari kadar aspal efektif yang tetap sesuai dengan yang telah ditetapkan dalam spesifikasi. Dimana spesifikasi yang dipakai dalam penelitian ini adalah Lataston Lapis Pondasi atau biasa disebut dengan HRS Base. Pada penelitian ini digunakan penggabungan 3 fraksi agregat dengan cara diagonal dan analitis dimana cara diagonal digunakan untuk perkiraan awal proporsi campuran, sedangkan cara analitis digunakan berdasarkan trial & error untuk membuat proporsinya lebih valid.

Pertama dilakukan cara grafis dengan diagonal untuk 3 fraksi agregat untuk menentukan perkiraan awal

proporsi campuran. Maka didapatkan grafik distribusi agregat sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik Diagonal Distribusi Agregat

Dengan menggunakan cara grafis diagonal dengan 3 fraksi agregat, maka didapat kombinasi presentase masing-masing agregat sebanyak :

Tabel 4.9 Presentase Variasi Campuran 1

AGREGAT	PRESENTASE CAMPURAN
Agregat Kasar (CA) 10-10 mm	29%
Agregat Sedang (MA) 5-10 mm	22%
Agregat Halus (FA) 0-5 mm	49%

Selanjutnya, untuk membuat proporsinya lebih valid, maka dilakukan trial dan error menggunakan cara analitis. Berikut cara dan tahapan penggabungan gradasi dengan cara analitis :

$$P = a.A + b.B + c.C + d.D$$

dimana ,

- P = Persen lolos saringan dengan ukuran (mm) yang diinginkan
- A = Persen lolos saringan fraksi agregat kasar ukuran d = ... mm
- B = Persen lolos saringan fraksi agregat medium ukuran d = ... mm
- C = Persen lolos saringan fraksi agregat halus ukuran d = ... mm
- D = Persen lolos saringan fraksi agregat filler ukuran d = ... mm

Untuk prosentase nilai a , b , c diperoleh dari perhitungan grafis sesuai dengan spesifikasi yang diatur pada peraturan Bina Marga 2010 mengenai batas agregat campuran HRS Base. Berikut tabel dan perhitungan mengenai prosentase penggabungan agregat (combined aggregate):

Tabel 4.10 Persentase Penggabungan Agregat (Combined Agregate)

NO SARINGAN	CA 10 - 10 mm		MA 5 - 10 mm		Abu Batu (FA) 0-5 mm		HASIL	SPESIFIKASI HRS - Base
	% LOLOS	27	% LOLOS	20	% LOLOS	53		
3/4"	100.00	27.00	100.00	20.00	100.00	53.00	100.0	100
1/2"	97.56	26.34	100.00	20.00	100.00	53.00	99.3	90 - 100
3/8"	53.29	14.39	97.76	19.55	100.00	53.00	86.9	65 - 90
No.4	5.22	1.41	43.79	8.76	100.00	53.00	63.2	49 - 72
No.8	0.79	0.21	2.97	0.59	83.32	44.16	45.0	35 - 55
No.16	0.00	0.00	0.63	0.13	55.09	29.20	29.3	24 - 44
No.30	0.00	0.00	0.00	0.00	38.93	20.63	20.6	15 - 35
No.50	0.00	0.00	0.00	0.00	25.19	13.35	13.4	10 - 26
No.100	0.00	0.00	0.00	0.00	16.69	8.85	8.8	6 - 17
No.200	0.00	0.00	0.00	0.00	11.89	6.30	6.3	2 - 9

- Contoh Perhitungan % Lolos Agregat Kasar

$$= \frac{\text{Jumlah \% Lolos}}{100\%} \times \% \text{ proporsicampuran}$$

$$= \frac{97,56}{100} \times 27\% = 26,34\%$$
- Contoh Perhitungan % Lolos Agregat Sedang

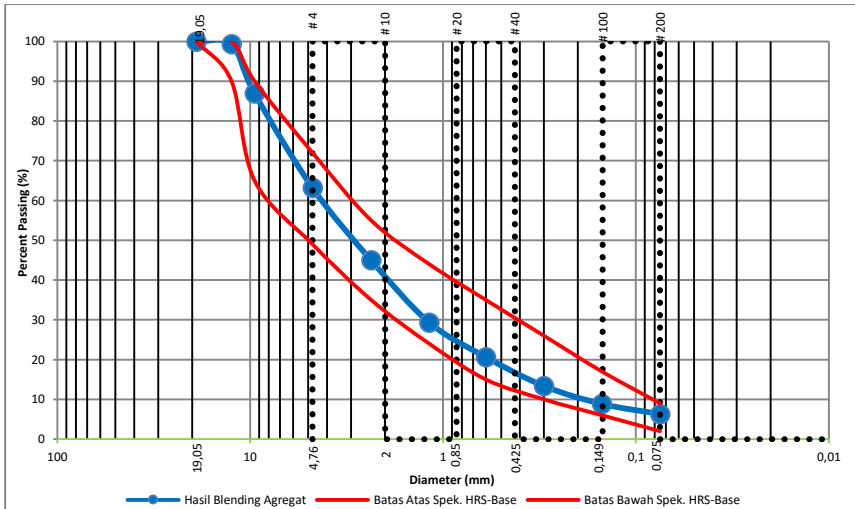
$$= \frac{\text{Jumlah \% Lolos}}{100\%} \times \% \text{ proporsicampuran}$$

$$= \frac{100}{100} \times 20\% = 20\%$$
- Contoh Perhitungan % Lolos Agregat Halus

$$= \frac{\text{Jumlah \% Lolos}}{100\%} \times \% \text{ proporsicampuran}$$

$$= \frac{100}{100} \times 53\% = 53\%$$

Dari proporsi agregat campuran diatas, maka selanjutnya di plot kedalam grafik gabungan 3 fraksi di bawah agar dapat terlihat apakah proporsi tersebut sudah memenuhi spesifikasi HRS Base atau tidak. Pada proporsi agregat ini tidak ditambahkan filler karena sudah memenuhi spesifikasi.



Gambar 4.2 Grafik Gabungan 3 Fraksi Agregat

Dari grafik gabungan 3 fraksi di atas, terlihat bahwa proporsi campurannya berada di antara batas atas dan batas bawah sehingga proporsi campuran diatas sudah memenuhi spesifikasi. Dimana proporsi campuran agregat yang akan dipakai dalam penelitian ini adalah :

Tabel 4.11 Persentase Variasi Campuran 2

AGREGAT	PRESENTASE CAMPURAN
Agregat Kasar (CA) 10-10 mm	27%
Agregat Sedang (MA) 5-10 mm	20%
Agregat Halus (FA) 0-5 mm	53%

4.3 Perencanaan Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji campuran dilakukan setelah semua material telah memenuhi spesifikasi baik spesifikasi fisik dan spesifikasi Latas-ton Lapis Pondasi.

Pembuatan benda uji yang pertama tanpa campuran PET bertujuan untuk mendapatkan kadar aspal optimum. Pada pembuatan benda uji ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yakni : jumlah benda uji, kadar aspal rencana, agregat yang digunakan, temperatur campuran, dan pemadatan benda uji.

4.3.1 Penentuan Kadar Aspal Rencana

Dalam merencanakan campuran aspal, harus dilakukan perhitungan perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% FF) + \text{Konstanta}$$

Dimana ,

Pb : Kadar aspal tengah atau ideal, (persen terhadap berat campuran)

CA: Persen agregat tertahan saringan No.8

FA: Persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200

FF : (*filler*), Persen agregat minimal 75% lolos saringan No.200

K : Nilai konstanta

(untuk nilai konstanta digunakan 2,0 – 3,0 untuk Lataston)

a. Fraksi Desain Butiran Agregat

Penentuan fraksi butiran agregat ditentukan sebagai rencana akan kebutuhan agregat yang digunakan, meliputi agregat kasar, agregat sedang, dan agregat halus. Berikut adalah tabel perhitungan fraksi desain butiran agregat. Perhitungan % Lolos

didapatkan dari hasil tabel proporsi agregat campuran.

Tabel 4.12 Fraksi Desain Butiran Agregat

NO SARINGAN	% Lolos	% Tertahan	PB
3/4"	100.00		CA = 55.03
1/2"	99.34	0.66	
3/8"	86.94	12.40	
No.4	63.17	23.77	
No.8	44.97	18.20	
No.16	29.33	15.64	FA = 38.66
No.30	20.63	8.69	
No.50	13.35	7.28	
No.100	8.85	4.51	
No.200	6.30	2.54	
PAN	0	6.30	6.30

- Contoh Perhitungan % CA (Tertahan saringan No.8)

$$\begin{aligned} \text{CA} &= 100\% - \% \text{ Lolos saringan N0.8} \\ &= 100\% - 44,97\% \\ &= 55,03\% \end{aligned}$$
- Contoh Perhitungan % FA (Lolos saringan No.8, Tertahan saringan No.200)

$$\begin{aligned} \text{FA} &= 100\% - \text{CA} - \% \text{ Lolos saringan No.200} \\ &= 100\% - 55,03\% - 6,30\% \\ &= 38,66\% \end{aligned}$$
- Contoh Perhitungan % FF (Lolos saringan No.200)

$$\begin{aligned} \text{FF} &= 100\% - \text{CA} - \text{FA} \\ &= 100\% - 55,03\% - 38,66\% \\ &= 6,30\% \end{aligned}$$

Sehingga, perkiraan kadar aspal rencana dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Pb} &= 0,035(\% \text{CA}) + 0,045(\% \text{FA}) + 0,18(\% \text{FF}) + K \\ \text{Pb} &= 0,035(55,03) + 0,045(38,66) + 0,18(6,30) + 2,0 \\ &= 6,79 \% \end{aligned}$$

b. Fraksi Desain Butiran Campuran

Penentuan fraksi butiran campuran ditentukan sebagai rencana akan kebutuhan campuran agregat yang digunakan. Berikut penjelasan perhitungan mengenai fraksi desain butiran agregat. Nilai fraksi agregat didapat dari :

- Agregat Kasar (CA)

$$55,03 \times \left(\frac{100 - 6,79}{100} \right) \% = 51,29\%$$

- Agregat Halus (FA)

$$38,66 \times \left(\frac{100 - 6,79}{100} \right) \% = 36,03\%$$

- Filler (FF)

$$6,30 \times \left(\frac{100 - 6,79}{100} \right) \% = 5,87\%$$

Maka nilai fraksi desain butiran campuran didapat sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Total} &= 51,29\% + 36,03\% + 5,87\% + 6,79\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

c. Perkiraan Awal Penyerapan Aspal

Untuk menentukan nilai awal penyerapan aspal, dilakukan perhitungan nilai penyerapan air untuk setiap jenis agregat.

- Agregat Kasar (CA) = $0,27 \times 1,042 = 0,281$
- Agregat Sedang (MA) = $0,20 \times 0,617 = 0,123$

- Agregat Halus (FA) = $0,53 \times 1,266 = 0,671$
Total = 1,075 %

Maka, nilai penyerapan aspal didapat sebesar :

- Penyerapan Aspal = $kons \times 1,075$
 $= 0,45 \times 1,075$
 $= 0.484 \%$
- Kadar Aspal = $0,484 + 6,79 = 7,274 \%$

Maka, perkiraan nilai kadar aspalnya adalah sebagai berikut :

PB - 1	PB - 0,5	PB	PB + 0.5	PB + 1
6.30%	6.80%	7.30%	7.80%	8.30%

4.3.2 Variasi Nilai Kadar Aspal Rencana

Untuk menentukan kadar aspal yang akan dijadikan sebagai rencana dasar, terlebih dahulu dilakukan perhitungan mengenai besaran proporsi untuk masing – masing material bahan uji sampel aspal. Seperti berat aspal dan jenis agregat dengan total berat 1200 gram untuk tiap sampel, berikut perhitungan mengenai proporsi campuran bahan

Tabel 4.13 Variasi Campuran Kadar Aspal 6,30%

Proporsi Campuran Kadar Aspal 6,30%				
Kadar aspal optimum		:	6.30	%
Berat sampel		:	1200.00	gr
Berat kadar aspal		:	75.60	gr
Berat Agregat Halus	53%	:	595.932	gr
Berat Agregat Sedang	20%	:	224.88	gr
Berat Agregat Kasar	27%	:	303.588	gr
Total			1200.00	gr

Berikut penjelasan mengenai perhitungan variasi campuran KAO

- Berat kadar aspal $= \frac{\%KAO}{100\%} \times \text{berat sample}$
 $= \frac{6,30}{100} \times 1200 = 75,6 \text{ gram}$
- Berat Agr. Halus $= 1200 - 75,6 = 1124,4 \text{ gram}$
 $= \frac{53}{100} \times 1124,4 = 595,932 \text{ gram}$
- Berat Agr.Sedang $= \frac{20}{100} \times 1124,4 = 224,88 \text{ gram}$
- Berat Agr.Sedang $= \frac{27}{100} \times 1124,4 = 303,588 \text{ gram}$

Tabel 4.14 Proporsi Campuran Kadar Aspal 6,80%

Proporsi Campuran Kadar Aspal 6,80%			
Kadar aspal optimum	:	6.80	%
Berat sampel	:	1200.00	gr
Berat kadar aspal	:	81.60	gr
Berat Agregat Halus	53%	592.752	gr
Berat Agregat Sedang	20%	223.68	gr
Berat Agregat Kasar	27%	301.968	gr
Total		1200.00	gr

Tabel 4.15 Proporsi Campuran Kadar Aspal 7,30%

Proporsi Campuran Kadar Aspal 7,30%			
Kadar aspal optimum	:	7.30	%
Berat sampel	:	1200.00	gr
Berat kadar aspal	:	87.60	gr
Berat Agregat Halus	53%	589.572	Gr
Berat Agregat Sedang	20%	222.48	Gr
Berat Agregat Kasar	27%	300.348	Gr
Total		1200.00	Gr

Tabel 4.16 Proporsi Campuran Kadar Aspal 7,80%

Proporsi Campuran Kadar Aspal 7,80%			
Kadar aspal optimum	:	7.80	%
Berat sampel	:	1200.00	gr
Berat kadar aspal	:	93.60	gr
Berat Agregat Halus	53%	: 586.392	gr
Berat Agregat Sedang	20%	: 221.28	gr
Berat Agregat Kasar	27%	: 298.728	gr
Total		1200.00	gr

Tabel 4.17 Proporsi Campuran Kadar Aspal 8,30%

Proporsi Campuran Kadar Aspal 8,30%			
Kadar aspal optimum	:	8.30	%
Berat sampel	:	1200.00	gr
Berat kadar aspal	:	99.60	gr
Berat Agregat Halus	53%	: 583.212	gr
Berat Agregat Sedang	20%	: 220.08	gr
Berat Agregat Kasar	27%	: 297.108	gr
Total		1200.00	gr

4.4 Pengujian *Marshall* Kadar Aspal Rencana

Untuk mengetahui nilai kadar aspal optimum, maka perlu dilakukan tes marshall berdasarkan parameter yang telah ditentukan pada masing-masing benda uji. Dari pengujian marshall dapat diketahui apakah nilai kadar aspal rencana (pb) merupakan kadar aspal optimum atau tidak. Pada penelitian ini sampel benda uji dibuat sebanyak 3 buah untuk masing – masing kadar aspal rencana. Dari total 15 benda uji, 2 benda uji tidak dapat digunakan karena benda uji nomor 3 dengan kadar aspal 6,80% mengalami kesalahan saat pengujian marshall, sedangkan benda uji nomor 3 dengan kadar aspal 8,30% rusak akibat kesalahan dalam

pembuatan benda ujinya. Kadar aspal 6,30% tidak dimasukkan kedalam grafik karena nilainya sangat fluktuatif dan membuat bentuk grafiknya tidak sesuai dengan seluruh grafik parameter Marshall campuran aspal normal.

4.4.1 Density

Sesuai perhitungan berat kering, berat jenuh, dan berat benda uji dalam air, maka didapat nilai *density* sebagai berikut :

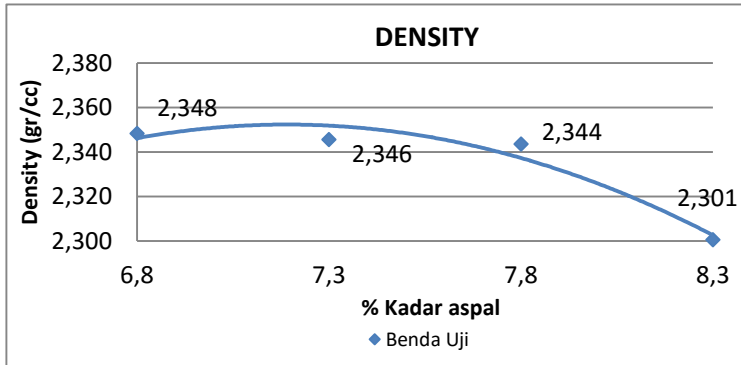
Tabel 4.18 Nilai Density tanpa Penambahan PET

Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	Berat (Gram)			Volume benda Uji (Cm3)	Density (Gr/Cm3)
		Kering	Air	Jenuh		
1	6.80	1177.0	680.0	1180.0	500	2.354
2	6.80	1183.0	682.0	1187.0	505	2.343
3	6.80	1172.0	673.5	1175.0	501.5	2.337
Rata - rata :						2.348
1	7.30	1178.5	683.0	1181.0	498	2.366
2	7.30	1172.5	678.0	1175.5	497.5	2.357
3	7.30	1176.5	671.5	1180.0	508.5	2.314
Rata - rata :						2.346
1	7.80	1161.0	669.0	1163.0	494	2.350
2	7.80	1168.5	668.5	1171.0	502.5	2.325
3	7.80	1157.5	669.0	1160.5	491.5	2.355
Rata - rata :						2.344
1	8.30	1181.5	674.0	1184.5	510.5	2.314
2	8.30	1160.5	657.0	1164.5	507.5	2.287
3	8.30	1152.0	645.5	1163.5	518	2.224
Rata - rata :						2.301

Density merupakan hasil bagi antara berat kering dengan berat isi benda uji.

- $$\text{Density} = \frac{\text{Berat kering}}{\text{Berat SSD} - \text{Berat dalam air}}$$

$$= \frac{1177}{1180 - 680} = 2,354 \text{ gr/cc}$$



Gambar 4.3 Grafik Density tanpa Penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal maka nilai *density* terus mengalami penurunan. Nilai rata-rata *density* tertinggi yakni 2,348 gr/cc pada kadar aspal 6,8 %, sedangkan nilai rata-rata *density* terendah yakni 2,301 gr/cc dengan kadar aspal 8,3 %. Menurut Roberts [9], jika nilai kadar aspal naik maka *density* ikut naik sampai mencapai puncak kemudian akan turun. Dari hasil benda uji diatas, dapat disimpulkan bahwa terjadi kebalikan dengan penelitian terdahulu, hal ini dapat terjadi karena kadar aspal yang tinggi dan jumlah tumbukan.

4.4.2 Void in Mix

Dari pengujian marshall, didapatkan nilai void in mix sebagai berikut :

Tabel 4.19 Nilai VIM tanpa Penambahan PET

Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	BJ.Bulk dari total agregat (Gr/Cm ³)	BJ.Efektif dari total agregat (Gr/Cm ³)	B.J maksimum theoritis	B.J Bulk Camp (Gr/Cm ³)	VIM (%)
1	6.80	2.724	2.765	2.484	2.354	5.21
2	6.80	2.724	2.765	2.484	2.343	5.67
3	6.80	2.724	2.765	2.484	2.337	5.90
Rata - rata :					2.348	5.44
1	7.30	2.724	2.765	2.465	2.366	4.00
2	7.30	2.724	2.765	2.465	2.357	4.39
3	7.30	2.724	2.765	2.465	2.314	6.14
Rata - rata :					2.346	4.84
1	7.80	2.724	2.765	2.447	2.350	3.95
2	7.80	2.724	2.765	2.447	2.325	4.96
3	7.80	2.724	2.765	2.447	2.355	3.75
Rata - rata :					2.344	4.22
1	8.30	2.724	2.765	2.429	2.314	4.71
2	8.30	2.724	2.765	2.429	2.287	5.85
3	8.30	2.724	2.765	2.429	2.224	8.44
Rata - rata :					2.301	5.28

Void in mix merupakan volume total udara yang berada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dengan persen volume bulk suatu campuran.

Agregat	Bj.Bulk (γ_{Ov})	Bj.Semu (γ_{App})	% Berat Total Agregat
10-10 mm	2.706	2.785	27.0
5 - 10 mm	2.812	2.861	20.0
0 - 5 mm	2.702	2.797	53.0

- BJ Bulk dari total agregat

$$= (\gamma_{Ov} \times a) + (\gamma_{Ov} \times b) + (\gamma_{Ov} \times c)$$

$$= (2,706 \times 27\%) + (2,812 \times 20\%) + (2,702 \times 53\%)$$

$$= 2,724 \text{ gr/cm}^3$$
- BJ Efektif dari total agregat

$$= \frac{BJ \text{ Bulk} + ((\gamma_{App} \times a) + (\gamma_{App} \times b) + (\gamma_{App} \times c))}{2}$$

$$= \frac{2,724 + ((2,785 \times 27\%) + (2,861 \times 20\%) + (2,797 \times 53\%))}{2}$$

$$= 2,765 \text{ gr/cm}^3$$
- BJ Maksimum Teoritis

$$= \frac{100}{\frac{(100 - \%aspal)}{Bj.Agr} + \left(\frac{\%aspal}{Bj.Asp}\right)}$$

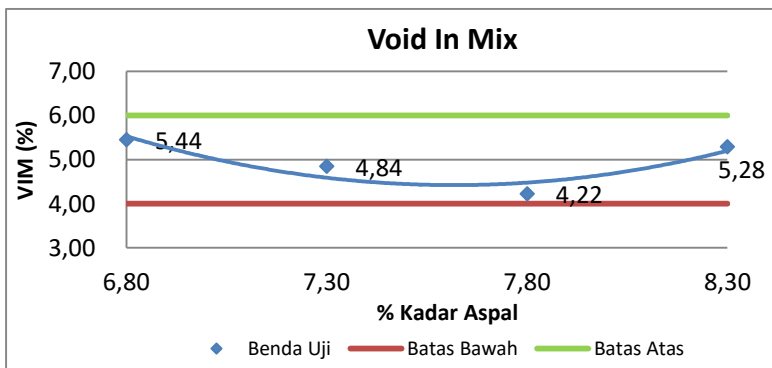
$$= \frac{100}{\frac{(100 - 6,8)}{2,765} + \left(\frac{6,8}{1,036}\right)}$$

$$= 2,484 \text{ gr/cm}^3$$
- Void in Mix

$$= 100 \times \frac{BJ \text{ maksimum teoritis} - BJ \text{ Bulk Camp}}{BJ \text{ Maksimum teoritis}}$$

$$= 100 \times \frac{2,484 - 2,354}{2,484}$$

$$= 5,21\%$$



Gambar 4.4 Grafik VIM tanpa Penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa rata – rata hasil VIM yang didapat pada masing-masing sample benda uji nilai VIM turun seiring dengan kenaikan kadar aspal, namun naik kembali pada kadar aspal 8,30%. Nilai VIM tertinggi yakni 5,44% terdapat pada benda uji dengan kadar aspal 6,80%. Sedangkan nilai VIM terendah sebesar 4,22% terdapat pada benda uji dengan kadar aspal 7,80%.

Menurut Purnamasari P.E, dan Suryaman F. [14], hasil yang didapat berdasarkan penelitian yang dilakukan bahwa, semakin naik kadar aspal maka nilai Void in Mix akan semakin menurun karena rongga antar agregat akan semakin terisi oleh aspal. Berbeda dengan hasil penelitian ini, nilai VIM mengalami penurunan seiring penambahan kadar aspal dan mengalami kenaikan kembali pada kadar aspal 8,30%. Pola grafik diatas tidak sepenuhnya sesuai dengan penelitian terdahulu, namun hasil VIM telah memenuhi spesifikasi yakni tidak kurang dari 4% dan tidak lebih dari 6%.

4.4.3 *Void Filled Asphalt*

Menurut Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Tahun 2004, VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif, dinyatakan dalam persen. Dari pengujian marshall, didapatkan nilai *Void Filled Asphalt* sebagai berikut :

Tabel 4.20 Nilai VFA tanpa Penambahan PET

Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	B.J Bulk Camp (Gr/Cm ³)	Kadar aspal Efektif total campuran (%)	Kadar aspal efektif (%)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)
1	6.80	2.354	6.27	14.77	5.21	19.98	73.90
2	6.80	2.343	6.27	14.70	5.67	20.37	72.14
3	6.80	2.337	6.27	14.66	5.90	20.56	71.30
Rata - rata :		2.348	6.27	14.73	5.44	20.18	73.02
1	7.30	2.366	6.78	16.03	4.00	20.03	80.04
2	7.30	2.357	6.78	15.97	4.39	20.36	78.43
3	7.30	2.314	6.78	15.68	6.14	21.82	71.86
Rata - rata :		2.346	6.78	15.89	4.84	20.74	76.78
1	7.80	2.350	7.28	17.11	3.95	21.06	81.24
2	7.80	2.325	7.28	16.93	4.96	21.89	77.32
3	7.80	2.355	7.28	17.14	3.75	20.89	82.04
Rata - rata :		2.344	7.28	17.06	4.22	21.28	80.20
1	8.30	2.314	7.78	18.01	4.71	22.72	79.26
2	8.30	2.287	7.78	17.79	5.85	23.65	75.24
3	8.30	2.224	7.78	17.31	8.44	25.74	67.22
Rata - rata :		2.301	7.78	17.90	5.28	23.19	77.25

Contoh perhitungan *Void Filled Asphalt* dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Penyerapan aspal terhadap total campuran

$$= \text{Kadar aspal} + \left(\frac{\text{BJ Aspal}(100 - \text{Kadar aspal})}{\text{BJ max teoritis}} \right) - \frac{100 (\text{BJ aspal})}{\text{BJ max teoritis}}$$

$$= 6,80 + \left(\frac{1,036(100 - 6,80)}{2,724} \right) - \frac{100 (1,036)}{2,484}$$

$$= 0,527 \%$$
- Kadar aspal efektif total campuran

$$= \text{Variasi kadar aspal} - \text{Penyerapan aspal}$$

$$= 6,80\% - 0,527\%$$

$$= 6,27\%$$

- Kadar aspal efektif

$$= BJ \text{ Bulk Camp} \times \text{Kadar aspal efektif total camp}$$

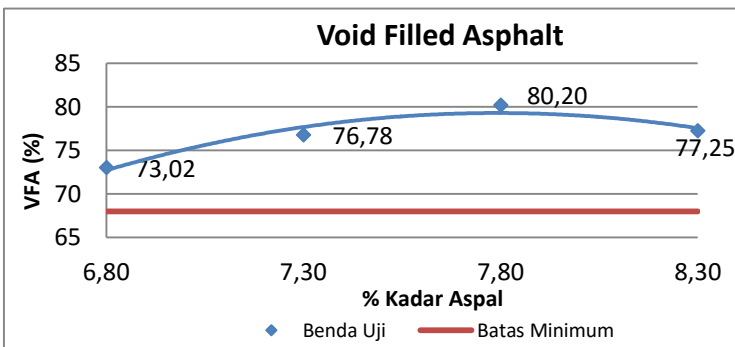
$$= 2,354 \times 6,27\%$$

$$= 14,77\%$$
- Penyerapan aspal terhadap total campuran (VFA)

$$= \left(\frac{\text{Kadar Aspal Efektif}}{VMA} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{14,77}{19,98} \right) \times 100\%$$

$$= 73,90\%$$



Gambar 4.5 Grafik VFA tanpa Penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal, maka semakin tinggi pula rongga yang terisi aspal. Nilai rata-rata VFA tertinggi yakni sebesar 80,20% dengan kadar aspal 7,80%. Sedangkan nilai rata-rata VFA terendah yakni sebesar 73,02% dengan kadar aspal 6,80%. Menurut Purnamasari P.E dan Surmayan F. [14], bahwa seiring penambahan kadar aspal, nilai VFA juga semakin meningkat. Hal ini disebabkan peningkatan kadar aspal yang menyebabkan rongga dalam campuran yang dapat diisi aspal juga semakin meningkat. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat kesamaan dengan penelitian

terdahulu, dimana pola regresi nilai rata-rata VFA mengalami kenaikan seiring penambahan kadar aspal.

4.4.4 *Void in Mineral Agregate*

Dari pengujian marshall, didapatkan nilai *Void in Mineral Agregate* sebagai berikut :

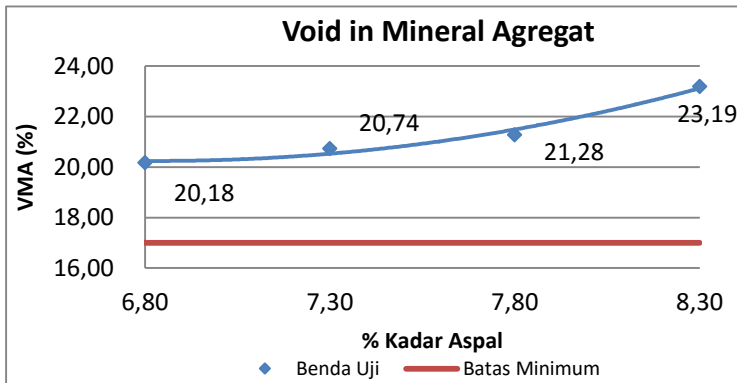
Tabel 4.21 Nilai VMA tanpa Penambahan PET

Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	BJ.Bulk dari total agregat (Gr/Cm ³)	B.J maksimum teoritis	B.J Bulk Camp (Gr/Cm ³)	Kadar aspal efektif (%)	VIM (%)	VMA (%)
1	6.80	2.724	2.484	2.354	14.77	5.21	19.98
2	6.80	2.724	2.484	2.343	14.70	5.67	20.37
3	6.80	2.724	2.484	2.337	14.66	5.90	20.56
Rata - rata :				2.348	14.73	5.44	20.18
1	7.30	2.724	2.465	2.366	16.03	4.00	20.03
2	7.30	2.724	2.465	2.357	15.97	4.39	20.36
3	7.30	2.724	2.465	2.314	15.68	6.14	21.82
Rata - rata :				2.346	15.89	4.84	20.74
1	7.80	2.724	2.447	2.350	17.11	3.95	21.06
2	7.80	2.724	2.447	2.325	16.93	4.96	21.89
3	7.80	2.724	2.447	2.355	17.14	3.75	20.89
Rata - rata :				2.344	17.06	4.22	21.28
1	8.30	2.724	2.429	2.314	18.01	4.71	22.72
2	8.30	2.724	2.429	2.287	17.79	5.85	23.65
3	8.30	2.724	2.429	2.224	17.31	8.44	25.74
Rata - rata :				2.301	17.90	5.28	23.19

VMA atau presentase rongga di antara mineral agregat merupakan volume rongga yang terdapat diantara partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji. Contoh perhitungan Void in

Mineral Agregate dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- *Void in Mineral Agregate*
 $= \text{Kadar aspal efektif} + \text{VIM}$
 $= 14,77\% + 5,21\%$
 $= 19,98\%$



Gambar 4.6 Grafik VMA tanpa Penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal, maka semakin tinggi pula rongga di antara mineral agregat. Nilai rata-rata VMA tertinggi yakni sebesar 23,19% dengan kadar aspal 8,30%. Sedangkan nilai rata-rata VMA terendah yakni sebesar 20,18% dengan kadar aspal 6,80%. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata – rata VMA telah memenuhi spesifikasi yakni tidak kurang dari 17%.

4.4.5 Flow

Menurut Departemen Pekerjaan Umum [12], flow merupakan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu

beban sampai batas keruntuhan, dinyatakan dalam satuan panjang. Sesuai perhitungan rencana dan hasil uji tes marshall, didapat nilai flow sebagai berikut :

Tabel 4.22 Nilai Flow tanpa Penambahan PET

Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	Stabilitas (bacaan)	Stabilitas (dikalibrasi)	Kelelahan / Flow (bacaan)	Kelelahan / Flow (mm)
1	6.80	83	1.150	148	1.48
2	6.80	62	859	393	3.93
3	6.80	88	1.219	-	-
Rata - rata :		73	1.004	271	2.71
1	7.30	68	942	425	4.25
2	7.30	93	1.288	4.50	4.50
3	7.30	76	1.053	3.15	3.15
Rata - rata :		79	1.094	3.97	3.97
1	7.80	66	914	4.14	4.14
2	7.80	72	997	4.30	4.30
3	7.80	55	762	3.54	3.54
Rata - rata :		64	891	3.99	3.99
1	8.30	71	983	5.25	5.25
2	8.30	65	900	4.04	4.04
3	8.30	31	429	0.75	0.75
Rata - rata :		68	942	4.65	4.65

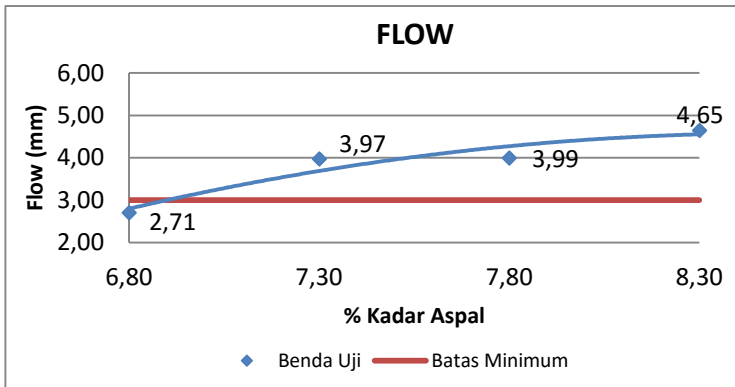
Contoh perhitungan *Flow* dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- *Flow*

$$= \text{Angka bacaan} \times 0,01 \text{ (mm)}$$

$$= 148 \times 0,01$$

$$= 1,48 \text{ mm}$$



Gambar 4.7 Grafik Flow tanpa Penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal, maka semakin tinggi pula nilai *flow*. Nilai rata-rata *flow* tertinggi yakni sebesar 4,65 mm dengan kadar aspal 8,30%. Sedangkan nilai rata-rata *flow* terendah yakni sebesar 2,71 mm dengan kadar aspal 6,80%. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata *flow* yang memenuhi spesifikasi yakni kadar aspal 7,30% - 8,30%.

4.4.6 Stabilitas

Menurut Sukirman [11], stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Sesuai perhitungan rencana dan hasil uji tes marshall, didapat nilai stabilitas sebagai berikut :

Tabel 4.23 Nilai Stabilitas tanpa Penambahan PET

Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	Stabilitas (bacaan)	Stabilitas (dikalibrasi)
1	6.80	83	1.150
2	6.80	62	859
3	6.80	88	1.219
Rata - rata :		73	1.004
1	7.30	68	942
2	7.30	93	1.288
3	7.30	76	1.053
Rata - rata :		79	1.094
1	7.80	66	914
2	7.80	72	997
3	7.80	55	762
Rata - rata :		64	891
1	8.30	71	983
2	8.30	65	900
3	8.30	31	429
Rata - rata :		68	942

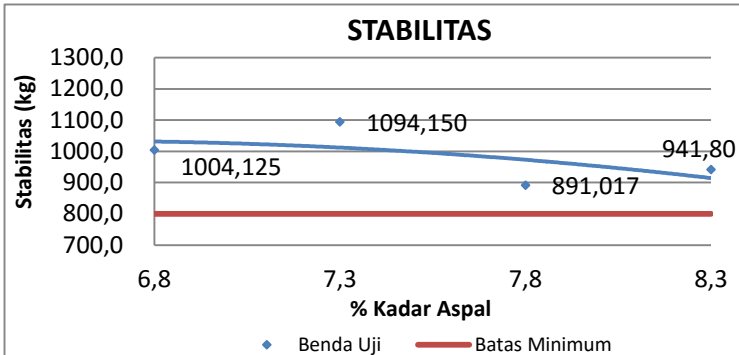
Stabilitas merupakan hasil bacaan pada jarum pembaca yang dikalikan dengan angka kalibrasi. Contoh perhitungan stabilitas dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Stabilitas

$$= \text{Angka bacaan} \times \text{kalibrasi}$$

$$= 83 \times 13,85$$

$$= 1.150 \text{ kg}$$



Gambar 4.8 Grafik Stabilitas tanpa Penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan nilai stabilitas pada kadar aspal 6,80% - 7,30%, dan terjadi penurunan pada kadar aspal 7,30% - 7,80%. Jika ditarik garis regresi, maka dengan penambahan kadar aspal terjadi kenaikan nilai stabilitas kemudian turun kembali. Nilai rata-rata stabilitas tertinggi yakni sebesar 1.094 kg dengan kadar aspal 7,30%. Sedangkan nilai rata-rata stabilitas terendah yakni sebesar 891 kg dengan kadar aspal 7,80%. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata stabilitas telah memenuhi spesifikasi yakni tidak kurang dari 800 kg.

4.4.7 Marshall Quotient

Menurut Rahmawati [13], *Marshall Quotient* dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran. Sesuai perhitungan rencana dan hasil uji tes marshall, didapat nilai *marshall quotient* sebagai berikut :

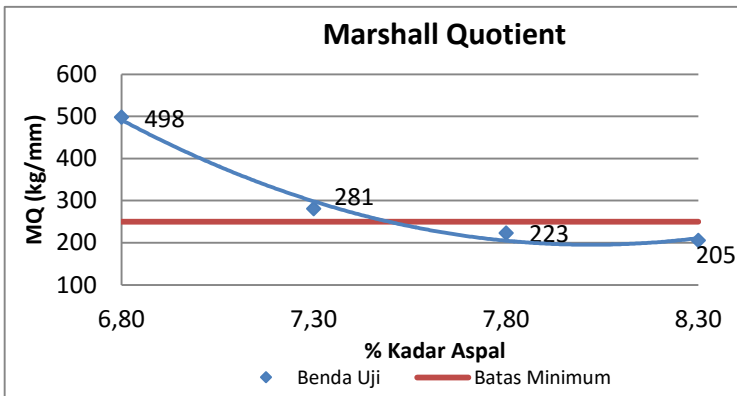
Tabel 4.24 Nilai *MQ* tanpa Penambahan PET

Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	Stabilitas (bacaan)	Stabilitas (dikalibrasi)	Kelelahan / Flow (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)
1	6.80	83	1.150	1.48	777
2	6.80	62	859	3.93	218
3	6.80	88	1.219	-	-
Rata - rata :		73	1.004	2.71	498
1	7.30	68	942	4.25	222
2	7.30	93	1.288	4.50	286
3	7.30	76	1.053	3.15	334
Rata - rata :		79	1.094	3.97	281
1	7.80	66	914	4.14	221
2	7.80	72	997	4.30	232
3	7.80	55	762	3.54	215
Rata - rata :		64	891	3.99	223
1	8.30	71	983	5.25	187
2	8.30	65	900	4.04	223
3	8.30	31	429	0.75	572
Rata - rata :		68	942	4.65	205

Marshall quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan flow. Contoh perhitungan *Marshall quotient* dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- *Marshall Quotient*

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Stabilitas}}{\text{flow}} \\
 &= \frac{1150}{1.48} \\
 &= 777 \text{ kg/mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.9 Grafik MQ tanpa Penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai MQ seiring dengan penambahan kadar aspal. Nilai rata-rata MQ tertinggi yakni sebesar 498 kg/mm dengan kadar aspal 6,80%. Sedangkan nilai rata-rata MQ terendah yakni sebesar 205 kg/mm dengan kadar aspal 8,30%. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa nilai rata-rata MQ yang memenuhi spesifikasi yakni kadar aspal 6,80% - 7,30%.

Tabel 4.25 Nilai Kadar Aspal Optimum

Parameter Marshall	Spesifikasi	Kisaran	Kadar Aspal Optimum (KAO) %			
STABILITAS	>800 Kg	6.3 - 8.3				
FLOW	> 3 mm	6.3 - 8.3				
VIM	4.0% - 6.0%	6.3 - 8.3				
VFA	> 68%	6.3 - 8.3				
VMA	> 17%	6.3 - 8.3				
MQ	>250 kg/mm	6.3 - 8.3				
Kadar Aspal Rencana Pb (%)			6.8	7.3	7.8	8.3
Dipakai Kadar Aspal Rencana (%)			7.3			

Berdasarkan hasil uji marshall yang telah dilakukan, maka didapat nilai kadar aspal optimum sebesar 7,30 % dan nantinya akan digunakan sebagai dasar atau acuan dalam pembuatan aspal dengan penambahan PET.

4.5 Perencanaan Proporsi Kadar Plastik

Penentuan besaran kadar plastik direncanakan atau dihitung dengan sebuah metode yaitu parameter TAIT. Tujuan dari penggunaan metode ini supaya dapat diketahui nilai densitas pada plastik.

Pada “ table VIII. Tait equation parameters for 56 polymer liquid, Patrick A. Rodgers” didapatkan sebuah persamaan untuk jenis polimer PET sebesar :

$$V(0, T) = 0,6883 + 5,90 \times 10^{-4}t,$$

dan ,

$$B(T) = 3697 \exp(-4,150 \times 10^{-3} t)$$

Dimana ,

t = suhu pada kondisi ruangan terbuka

Berdasarkan perhitungan trial & error, dengan variasi suhu 150°C, 160°C, 170°C, 180°C, 190°C, dan 200°C. Didapatkan pada suhu 200°C merupakan suhu terbaik untuk mencapai harga densitas yang diinginkan.

$$\begin{aligned} V(0, T) &= 0,6883 + 5,90 \times 10^{-4} \times 200 \\ &= 0,8063 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B(T) &= 3697 \exp(-4,150 \times 10^{-3} \times 200) \\ &= 1612,074 \end{aligned}$$

Berdasarkan model empiris untuk menghitung nilai Volume $V(P, T)$, didapat perumusan sebagai berikut

$$V(P, T) = V(0, T) \{1 - \text{Cln}[1 + P/B(T)]\}$$

Dimana,

C = konstanta 0,0894

P = tekanan atmosfer, 76 mmHg (1 bar)

$$\begin{aligned} V(P, T) &= 0,806 \{1 - \text{Cln}[1 + 1/1612,074]\} \\ &= 0,80625 \end{aligned}$$

Sehingga didapat nilai densitas plastik sebesar

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dimana,

m = masa molar (1 gram)

V = volume molar

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{0,80625} \\ &= 1,24 \end{aligned}$$

Didapat nilai densitas sebesar 1,24 gr/mm³

Berikut ini tabel mengenai harga densitas tiap suhu yang berbeda-beda

Tabel 4.26 Harga densitas plastik tiap suhu

Suhu	160	170	180	190	200
V(0,T)	0,782	0,788	0,794	0,900	0,806
B (T)	1903,1	1825,8	1751,5	1680,3	1612,0
V(P,T)	0,782	0,788	0,794	0,800	0,806
Densitas	1,277	1,268	1,258	1,249	1,240

4.6 Perencanaan Pembuatan Benda Uji dengan Campuran PET

Pada perencanaan pembuatan benda uji dengan campuran PET menggunakan kadar aspal optimum (KAO) yakni 7,30%. Sedangkan untuk persentase plastik digunakan variasi plastik 0%, 2%, 4%, 6%, dan

8% dari total berat aspal. Berikut merupakan perhitungan proporsi campuran bahan :

Tabel 4.27 KAO 7,3% dengan Campuran PET 0%

Proporsi Campuran Kadar Aspal 7,30%;plastik 0%				
Kadar aspal optimum		:	7.30	%
Berat sampel		:	1200.00	gr
Berat kadar aspal optimum		:	87.60	gr
Berat plastik	0%	:	0.00	gr
Berat kadar aspal		:	87.60	gr
Berat Agregat Halus	53%	:	589.572	gr
Berat Agregat Sedang	20%	:	222.48	gr
Berat Agregat Kasar	27%	:	300.348	gr
Total			1200.00	gr

Tabel 4.28 KAO 7,3% dengan Campuran PET 2%

Proporsi Campuran Kadar Aspal 7,30% ; plastik 2%				
Kadar aspal optimum		:	7.30	%
Berat sampel		:	1200.00	gr
Berat kadar aspal optimum		:	87.60	gr
Berat plastik	2%	:	1.75	gr
Berat kadar aspal		:	85.85	gr
Berat Agregat Halus	53%	:	589.572	gr
Berat Agregat Sedang	20%	:	222.48	gr
Berat Agregat Kasar	27%	:	300.348	gr
Total			1200.00	gr

Berikut penjelasan mengenai perhitungan variasi campuran KAO

- $$\begin{aligned} \text{Berat KAO} &= \frac{\%KAO}{100\%} \times \text{berat sample} \\ &= \frac{7,30}{100} \times 1200 = 87,6 \text{ gram} \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \text{Berat Plstik} &= \frac{\%Plastik}{100\%} \times \text{berat KAO} \\ &= \frac{2}{100} \times 87,6 = 1,75 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Berat Kadar Aspal = Berat KAO - Berat Plastik
= 87,6 - 1,75 = 85,85 gram
- Berat Agr. Halus = 1200 – 87,6 = 1112,4 gram
= $\frac{53}{100} \times 1112,4 = 589,572$ gram
- Berat Agr.Sedang = $\frac{20}{100} \times 1112,4 = 222,48$ gram
- Berat Agr.Sedang = $\frac{27}{100} \times 1112,4 = 300,348$ gram

Tabel 4.29 KAO 7,3% dengan Campuran PET 4%

Proporsi Campuran Kadar Aspal 7,30% ; plastik 4%				
Kadar aspal optimum		:	7.30	%
Berat sampel		:	1200.00	gr
Berat kadar aspal optimum		:	87.60	gr
Berat plastik	4%	:	3.50	gr
Berat kadar aspal		:	84.10	gr
Berat Agregat Halus	53%	:	589.572	gr
Berat Agregat Sedang	20%	:	222.48	gr
Berat Agregat Kasar	27%	:	300.348	gr
Total			1200.00	gr

Tabel 4.30 KAO 7,3% dengan Campuran PET 6%

Proporsi Campuran Kadar Aspal 7,30% ; plastik 6%				
Kadar aspal optimum		:	7.30	%
Berat sampel		:	1200.00	gr
Berat kadar aspal Optimum		:	87.60	gr
Berat plastik	6%	:	5.26	gr
Berat kadar aspal		:	82.34	gr
Berat Agregat Halus	53%	:	589.572	gr
Berat Agregat Sedang	20%	:	222.48	gr
Berat Agregat Kasar	27%	:	300.348	gr
Total			1200.00	gr

Tabel 4.31 KAO 7,3% dengan Campuran PET 8%

Proporsi Campuran Kadar Aspal 7,30% ; plastik 8%				
Kadar aspal optimum		:	7.30	%
Berat sampel		:	1200.00	gr
Berat kadar aspal Optimum		:	87.60	gr
Berat plastik	8%	:	7.01	gr
Berat kadar aspal		:	80.59	gr
Berat Agregat Halus	53%	:	589.572	gr
Berat Agregat Sedang	20%	:	222.48	gr
Berat Agregat Kasar	27%	:	300.348	gr
Total			1200.00	gr

4.7 Pengujian Marshall Campuran Aspal Plastik

Untuk mengetahui pengaruh penambahan PET pada Lataston Lapis Pondasi, maka perlu dilakukan tes marshall berdasarkan parameter yang telah ditentukan pada masing-masing benda uji. Dari pengujian marshall dapat diketahui apakah dengan penambahan PET dapat meningkatkan kinerja Lapisan aspal tersebut atau tidak. Pada penelitian ini sampel benda uji dibuat sebanyak 5 buah untuk masing – masing variasi PET. Sampel tanpa penambahan PET juga dibuat kembali sebanyak 5 buah sebagai pembanding. Dari total 25 benda uji tidak terdapat kerusakan. Namun ada beberapa kendala dalam pengujian Marshallnya, sehingga tidak semua sampel yang diolah, namun hanya di ambil data yang relevan saja. Hasil yang telah didapat kemudian di analisa yang mencakup perbedaan antara campuran aspal yang tidak diberi PET dan campuran aspal yang diberi PET.

4.7.1 Density

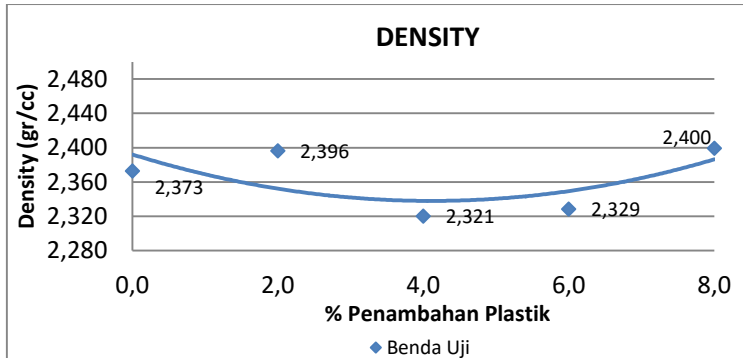
Sesuai perhitungan berat kering, berat jenuh, dan berat benda uji dalam air, maka didapat nilai *density* sebagai berikut :

Tabel 4.32 Nilai density dengan penambahan PET

Kadar Plastik (%)	Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	Berat (Gram)			Volume benda Uji (Cm³)	Density (Gr/Cm³)
			Kering	Air	Jenuh		
0%	1	7.30	1142.0	658.5	1147.5	489.0	2.335
0%	2	7.30	1169.0	683.0	1172.0	489.0	2.391
0%	3	7.30	1138.5	668.0	1141.0	473.0	2.407
0%	4	7.30	1180.0	686.0	1182.5	496.5	2.377
0%	5	7.30	1151.5	674.0	1153.5	479.5	2.401
Rata - rata :							2.373
2%	1	7.30	1176.5	698.0	1179.5	481.5	2.443
2%	2	7.30	1167.5	689.0	1169.5	480.5	2.430
2%	3	7.30	1163.0	690.5	1165.0	474.5	2.451
2%	4	7.30	1175.5	697.5	1177.0	479.5	2.452
2%	5	7.30	1172.0	672.0	1178.0	506	2.316
Rata - rata :							2.396
4%	1	7.30	1165.0	681.0	1172.0	491.0	2.373
4%	2	7.30	1181.0	672.5	1189.0	516.5	2.287
4%	3	7.30	1172.0	666.0	1181.0	515.0	2.276
4%	4	7.30	1175.5	661.0	1185.0	524.0	2.243
4%	5	7.30	1148.0	677.0	1150.5	473.5	2.424
Rata - rata :							2.321
6%	1	7.30	1173.5	687.5	1177.5	490.0	2.395
6%	2	7.30	1171.5	688.0	1174.5	486.5	2.408
6%	3	7.30	1169.5	662.5	1180.5	518.0	2.258
6%	4	7.30	1172.0	644.0	1190.0	546.0	2.147
6%	5	7.30	1168.0	692.5	1172.0	479.5	2.436
Rata - rata :							2.329
8%	1	7.30	1184.0	691.5	1190.0	498.5	2.375
8%	2	7.30	1165.5	693.5	1169.0	475.5	2.451
8%	3	7.30	1174.0	685.0	1182.5	497.5	2.360
8%	4	7.30	1172.5	689.0	1175.5	486.5	2.410
8%	5	7.30	1170.0	689.5	1176.5	487.0	2.402
Rata - rata :							2.400

Density merupakan hasil bagi antara berat kering dengan berat isi benda uji.

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ Density} &= \frac{\text{Berat kering}}{\text{Berat SSD} - \text{Berat dalam air}} \\
 &= \frac{1176,5}{1179,5 - 698} = 2,443 \text{ gr/cc}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.10 Grafik density dengan penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar plastik nilai *density* mengalami kenaikan pada kadar plastik 0%-2%, kemudian mengalami penurunan pada kadar plastik 2%-4%, dan naik kembali hingga kadar plastik 8%. Nilai rata-rata *density* tertinggi yakni 2,400 gr/cc pada kadar plastik 8%, sedangkan nilai rata-rata *density* terendah yakni 2,321 gr/cc dengan kadar plastik 4 %.

Menurut Purnamasari, P.E. [14], nilai *density* campuran aspal yang tidak ditambah plastik hasilnya lebih besar dari pada campuran yang ditambahkan plastik. Namun pada penelitian ini ada sedikit perbedaan dimana nilai *density* campuran aspal yang tidak ditambahkan plastik hasilnya tidak lebih besar yakni 2,373 gr/cc dibandingkan campuran yang ditambahkan plastik. Seiring dengan penambahan plastik, nilai *density* cenderung turun dan naik kembali. Perbedaan ini disebabkan karena perbedaan cara pencampuran antara penelitian sebelumnya dan penelitian ini.

Pada penelitian sebelumnya menggunakan cara kering sedangkan penelitian ini menggunakan cara

basah. Suhu pencampuranpun juga berbeda, dimana penelitian terdahulu suhu pencampurannya 170°C dan penelitian ini mencampurkan plastik pada aspal pada suhu 200°C . Sehingga pada proses pelaksanaan, saat mencampurkan plastik kedalam agregat, penelitian terdahulu masih berbentuk serat-serat halus. Sedangkan pada penelitian ini, penulis mencampurkan plastik kedalam aspal bersuhu 200°C dan mengaduknya hingga plastik benar-benar meleleh dan homogen dengan aspal, barulah dicampurkan agregat kedalamnya. Ini menyebabkan campurannya lebih mampat dan membuat nilai *density* campuran aspal yang menggunakan tambahan plastik lebih besar dari campuran aspal yang tidak ditambahkan plastik.

4.7.2 Void in Mix

Void in mix merupakan volume total udara yang berada diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dinyatakan dengan persen volume bulk suatu campuran.

Agregat	Bj.Bulk (γ_{Ov})	Bj.Semu (γ_{App})	% Berat Total Agregat
10-10 mm	2.706	2.785	27.0
5 - 10 mm	2.812	2.861	20.0
0 - 5 mm	2.702	2.797	53.0

Setelah semua benda uji ditimbang, didapatkan nilai *void in mix* dalam tabel sebagai berikut :

Tabel 4.33 Nilai VIM dengan penambahan PET

Kadar Plastik (%)	Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	BJ.Bulk dari total agregat (Gr/Cm ³)	BJ.Efektif dari total agregat (Gr/Cm ³)	BJ. maksimum theoritis campuran	B.J Bulk Camp. (Gr/Cm ³)	VIM (%)
0%	1	7.30	2.724	2.765	2.465	2.335	5.26
0%	2	7.30	2.724	2.765	2.465	2.391	3.02
0%	3	7.30	2.724	2.765	2.465	2.407	2.36
0%	4	7.30	2.724	2.765	2.465	2.377	3.59
0%	5	7.30	2.724	2.765	2.465	2.401	2.58
Rata - rata :						2.373	3.73
2%	1	7.30	2.724	2.765	2.465	2.443	0.88
2%	2	7.30	2.724	2.765	2.465	2.430	1.43
2%	3	7.30	2.724	2.765	2.465	2.451	0.57
2%	4	7.30	2.724	2.765	2.465	2.452	0.55
2%	5	7.30	2.724	2.765	2.465	2.316	6.04
Rata - rata :						2.396	2.78
4%	1	7.30	2.724	2.765	2.465	2.373	3.75
4%	2	7.30	2.724	2.765	2.465	2.287	7.24
4%	3	7.30	2.724	2.765	2.465	2.276	7.68
4%	4	7.30	2.724	2.765	2.465	2.243	8.99
4%	5	7.30	2.724	2.765	2.465	2.424	1.64
Rata - rata :						2.321	5.86
6%	1	7.30	2.724	2.765	2.465	2.395	2.85
6%	2	7.30	2.724	2.765	2.465	2.408	2.31
6%	3	7.30	2.724	2.765	2.465	2.258	8.41
6%	4	7.30	2.724	2.765	2.465	2.147	12.92
6%	5	7.30	2.724	2.765	2.465	2.436	1.18
Rata - rata :						2.329	5.53
8%	1	7.30	2.724	2.765	2.465	2.375	3.65
8%	2	7.30	2.724	2.765	2.465	2.451	0.57
8%	3	7.30	2.724	2.765	2.465	2.360	4.27
8%	4	7.30	2.724	2.765	2.465	2.410	2.23
8%	5	7.30	2.724	2.765	2.465	2.402	2.54
Rata - rata :						2.400	2.65

Dari tabel diatas, contoh perhitungan nilai void in mix akan dijelaskan sebagai berikut :

- BJ Bulk dari total agregat

$$= (\gamma_{Ov} \times a) + (\gamma_{Ov} \times b) + (\gamma_{Ov} \times c)$$

$$= (2,706 \times 27\%) + (2,812 \times 20\%) + (2,702 \times 53\%)$$

$$= 2,724 \text{ gr/cm}^3$$

- BJ Efektif dari total agregat

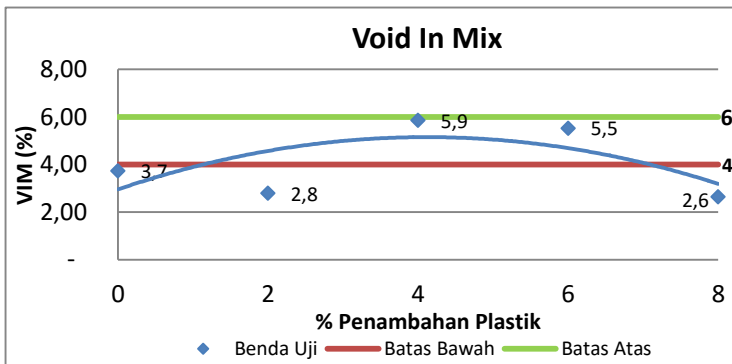
$$\begin{aligned}
 &= \frac{BJ \text{ Bulk} + ((\gamma_{App} \times a) + (\gamma_{App} \times b) + (\gamma_{App} \times c))}{2} \\
 &= \frac{2,724 + ((2,785 \times 27\%) + (2,861 \times 20\%) + (2,797 \times 53\%))}{2} \\
 &= 2,765 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

- BJ Maksimum Teoritis

$$\begin{aligned}
 &= \frac{100}{\frac{(100 - \%aspal)}{Bj.Agr} + \left(\frac{\%aspal}{Bj.Asp}\right)} \\
 &= \frac{100}{\frac{(100 - 7,3)}{2,765} + \left(\frac{7,3}{1,036}\right)} \\
 &= 2,465 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

- Void in Mix

$$\begin{aligned}
 &= 100 \times \frac{BJ \text{ maksimum teoritis} - BJ \text{ Bulk Camp}}{BJ \text{ Maksimum teoritis}} \\
 &= 100 \times \frac{2,465 - 2,443}{2,465} \\
 &= 0,88\%
 \end{aligned}$$



Gambar 4.11 Grafik VIM dengan penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya kadar plastik nilai VIM yang didapat mengalami kenaikan hingga 5,9% pada kadar plastik 4%, kemudian mengalami penurunan hingga 2,6% pada

kadar plastik 8%. Namun pada saat kadar plastik 2%, nilai VIM sempat mengalami penurunan yakni 2,8%.

Menurut Purnamasari P.E [14], mengatakan bahwa dengan penambahan plastik pada campuran aspal dapat meningkatkan nilai VIM pada campuran. Sehingga semakin tinggi kadar plastik yang ditambahkan maka akan semakin tinggi pula nilai VIM nya. Ada sedikit kemiripan dengan penelitian ini, dimana pada saat campuran aspal diberi tambahan plastik, terjadi peningkatan nilai VIM menjadi 5,9%, namun kemudian turun kembali hingga mencapai 2,6%.

Kenaikan nilai VIM yang cukup signifikan pada kadar plastik 4% dengan nilai 5,9% sangat dekat dengan batas atas spesifikasi yakni 6%. Hal ini disebabkan karena pada saat campuran aspal diberi tambahan plastik dengan jumlah banyak, membuat plastik tersebut menyelimuti agregat sehingga menghalangi aspal untuk mengisi rongga dalam agregat. Hal ini membuat rongga dalam campuran menjadi besar.

Dengan besarnya nilai VIM maka akan dikhawatirkan terjadi porus atau penyerapan air yang sangat banyak saat hujan dan dapat membuat aspal mudah retak. Namun hal ini harus dikaji lebih dalam lagi, karena perhitungannya masih menggunakan perhitungan campuran aspal biasa. Akan lebih baik lagi jika kedepannya dilakukan penyesuaian rumus untuk perhitungan aspal dengan penambahan plastik. Perlu juga dilakukan penelitian di lapangan, apakah nilai VIM yang tinggi pada campuran aspal plastik akan menimbulkan porus, sehingga akan didapatkan batas atas spesifikasi tetap menggunakan spesifikasi biasa atau spesifikasi khusus untuk aspal plastik.

4.7.3 Void Filled Asphalt

Menurut Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah Tahun 2004, VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif, dinyatakan dalam persen. Dari pengujian marshall, didapatkan nilai *Void Filled Asphalt* sebagai berikut :

Tabel 4.34 Nilai VFA dengan penambahan PET

Kadar Plastik (%)	Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	B.J Bulk Camp. (Gr/Cm3)	Kadar aspal Efektif total campuran (%)	Kadar aspal efektif	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)
0%	1	7.30	2.335	6.78	15.82	5.26	21.08	75.05
0%	2	7.30	2.391	6.78	16.20	3.02	19.22	84.29
0%	3	7.30	2.407	6.78	16.31	2.36	18.66	87.38
0%	4	7.30	2.377	6.78	16.10	3.59	19.69	81.79
0%	5	7.30	2.401	6.78	16.27	2.58	18.85	86.32
Rata - rata :			2.373	6.78	16.08	3.73	19.81	81.41
2%	1	7.30	2.443	6.78	16.56	0.88	17.43	94.97
2%	2	7.30	2.430	6.78	16.46	1.43	17.89	92.00
2%	3	7.30	2.451	6.78	16.61	0.57	17.18	96.69
2%	4	7.30	2.452	6.78	16.61	0.55	17.16	96.80
2%	5	7.30	2.316	6.78	15.69	6.04	21.73	72.22
Rata - rata :			2.396	6.78	16.24	2.78	19.02	86.40
4%	1	7.30	2.373	6.78	16.08	3.75	19.82	81.11
4%	2	7.30	2.287	6.78	15.49	7.24	22.73	68.15
4%	3	7.30	2.276	6.78	15.42	7.68	23.10	66.75
4%	4	7.30	2.243	6.78	15.20	8.99	24.19	62.83
4%	5	7.30	2.424	6.78	16.43	1.64	18.07	90.90
Rata - rata :			2.321	6.78	15.72	5.86	21.58	73.95
6%	1	7.30	2.395	6.78	16.23	2.85	19.07	85.08
6%	2	7.30	2.408	6.78	16.32	2.31	18.63	87.58
6%	3	7.30	2.258	6.78	15.30	8.41	23.71	64.53
6%	4	7.30	2.147	6.78	14.54	12.92	27.47	52.96
6%	5	7.30	2.436	6.78	16.51	1.18	17.69	93.31
Rata - rata :			2.329	6.78	15.78	5.53	21.31	76.69
8%	1	7.30	2.375	6.78	16.09	3.65	19.74	81.52
8%	2	7.30	2.451	6.78	16.61	0.57	17.17	96.71
8%	3	7.30	2.360	6.78	15.99	4.27	20.26	78.93
8%	4	7.30	2.410	6.78	16.33	2.23	18.56	87.99
8%	5	7.30	2.402	6.78	16.28	2.54	18.82	86.51
Rata - rata :			2.400	6.78	16.26	2.65	18.91	86.33

Contoh perhitungan *Void Filled Asphalt* dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Penyerapan aspal terhadap total campuran

$$= \text{Kadar aspal} + \left(\frac{\text{BJ Aspal}(100 - \text{Kadar aspal})}{\text{BJ Bulk dari total agregat}} \right) - \frac{100 (\text{BJ aspal})}{\text{BJ max teoritis}}$$

$$= 7,30 + \left(\frac{1,036(100 - 7,30)}{2,724} \right) - \frac{100 (1,036)}{2,502}$$

$$= 0,524 \%$$
- Kadar aspal efektif total campuran

$$= \text{Variasi kadar aspal} - \text{Penyerapan aspal}$$

$$= 7,30\% - 0,524\%$$

$$= 6,78\%$$
- Kadar aspal efektif

$$= \text{BJ Bulk Camp} \times \text{Kadar aspal efektif total camp}$$

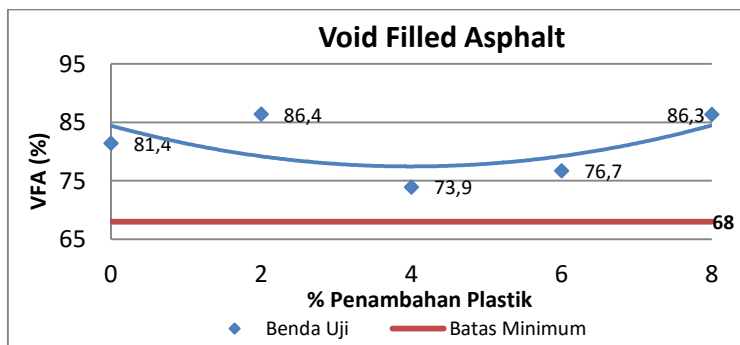
$$= 2,443 \times 6,78\%$$

$$= 16,56\%$$
- Penyerapan aspal terhadap total campuran (VFA)

$$= \left(\frac{\text{Kadar Aspal Efektif}}{\text{VMA}} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{16,56}{17,43} \right) \times 100\%$$

$$= 94,97\%$$



Gambar 4.12 Grafik VFA dengan penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya kadar plastik, maka nilai VFA mengalami penurunan hingga 73,9% pada kadar plastik 4%, kemudian naik kembali hingga 86,3% pada kadar plastik 8%. Namun pada saat kadar plastik 2%, nilai VFA sempat mengalami kenaikan yakni 86,4%.

Menurut Purnamasari P.E [14], mengatakan bahwa dengan penambahan plastik pada campuran aspal dapat menurunkan nilai VFA pada campuran. Penelitian terdahulu tidak sepenuhnya sesuai dengan penelitian ini, namun ada sedikit perbedaan dimana terjadi kenaikan kembali hingga 86,3% pada kadar plastik 8%. Terlihat dari grafik bahwa garis regresinya melengkung ke atas.

Turunya nilai VFA ini berhubungan juga dengan nilai VIM. Dimana saat nilai VIM tinggi maka otomatis nilai VFA nya rendah. Hal ini disebabkan karena dengan banyaknya jumlah plastik membuat aspal tidak memenuhi rongga dalam agregat dengan sempurna. Sehingga jumlah aspal yang memenuhi rongga di dalam agregat sedikit dan membuat nilai VFA nya menjadi kecil. Karena kecilnya nilai VFA inilah, rongga dalam campuran (VIM) meningkat, yang kemudian akan menyebabkan saat lapisan ini diberi repetisi beban terus menerus, tidak akan menjadi mampat sempurna, sehingga masih akan ada rongga yang nantinya membuat lapisan aspal menjadi porus dan mudah teroksidasi dan mengalami keretakan.

4.7.4 Void in Mineral Agregate

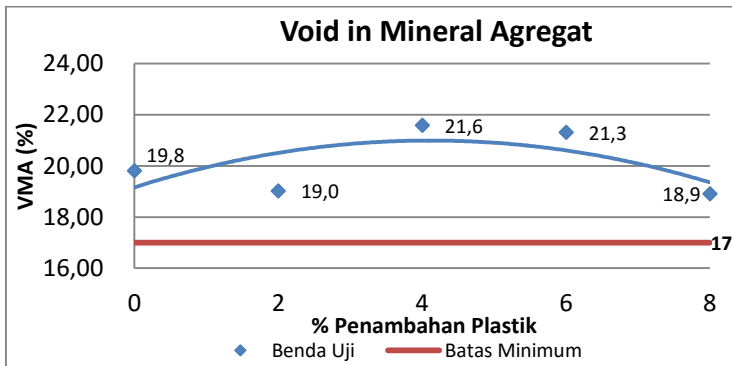
Dari pengujian marshall, didapatkan nilai *Void in Mineral Agregate* sebagai berikut :

Tabel 4.35 Nilai VMA dengan penambahan PET

Kadar Plastik (%)	Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	BJ.Bulk dari total agregat (Gr/Cm ³)	BJ. maksimum teoritis	B.J Bulk Camp. (Gr/Cm ³)	Kadar aspal efektif (%)	VIM (%)	VMA (%)
0%	1	7.30	2.724	2.465	2.335	15.82	5.26	21.08
0%	2	7.30	2.724	2.465	2.391	16.20	3.02	19.22
0%	3	7.30	2.724	2.465	2.407	16.31	2.36	18.66
0%	4	7.30	2.724	2.465	2.377	16.10	3.59	19.69
0%	5	7.30	2.724	2.465	2.401	16.27	2.58	18.85
Rata - rata :					2.373	16.08	3.73	19.81
2%	1	7.30	2.724	2.465	2.443	16.56	0.88	17.43
2%	2	7.30	2.724	2.465	2.430	16.46	1.43	17.89
2%	3	7.30	2.724	2.465	2.451	16.61	0.57	17.18
2%	4	7.30	2.724	2.465	2.452	16.61	0.55	17.16
2%	5	7.30	2.724	2.465	2.316	15.69	6.04	21.73
Rata - rata :					2.396	16.24	2.78	19.02
4%	1	7.30	2.724	2.465	2.373	16.08	3.75	19.82
4%	2	7.30	2.724	2.465	2.287	15.49	7.24	22.73
4%	3	7.30	2.724	2.465	2.276	15.42	7.68	23.10
4%	4	7.30	2.724	2.465	2.243	15.20	8.99	24.19
4%	5	7.30	2.724	2.465	2.424	16.43	1.64	18.07
Rata - rata :					2.321	15.72	5.86	21.58
6%	1	7.30	2.724	2.465	2.395	16.23	2.85	19.07
6%	2	7.30	2.724	2.465	2.408	16.32	2.31	18.63
6%	3	7.30	2.724	2.465	2.258	15.30	8.41	23.71
6%	4	7.30	2.724	2.465	2.147	14.54	12.92	27.47
6%	5	7.30	2.724	2.465	2.436	16.51	1.18	17.69
Rata - rata :					2.329	15.78	5.53	21.31
8%	1	7.30	2.724	2.465	2.375	16.09	3.65	19.74
8%	2	7.30	2.724	2.465	2.451	16.61	0.57	17.17
8%	3	7.30	2.724	2.465	2.360	15.99	4.27	20.26
8%	4	7.30	2.724	2.465	2.410	16.33	2.23	18.56
8%	5	7.30	2.724	2.465	2.402	16.28	2.54	18.82
Rata - rata :					2.400	16.26	2.65	18.91

VMA atau presentase rongga di antara mineral agregat merupakan volume rongga yang terdapat diantara partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji. Contoh perhitungan Void in Mineral Aggregate dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- *Void in Mineral Agregate*
 $= \text{Kadar aspal efektif} + \text{VIM}$
 $= 16,56\% + 0,88\%$
 $= 17,43\%$



Gambar 4.13 Grafik VMA dengan penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya kadar plastik, maka nilai VMA mengalami kenaikan hingga 21,6% pada kadar plastik 4%, kemudian turun kembali hingga 18,9% pada kadar plastik 8%. Namun pada saat kadar plastik 2%, nilai VMA sempat mengalami penurunan yakni 19%.

Menurut Rahmawati A [13], mengatakan bahwa dengan penambahan plastik pada campuran aspal dapat menurunkan nilai VMA pada campuran. Penelitian yang dilakukan ole Rahmawati A ini sangat sesuai dengan penelitian ini. Dimana grafik nilai VMA nya naik kemudian turun kembali sesuai penambahan kadar plastik. Penurunan nilai VMA ini juga berhubungan dengan parameter sebelumnya yakni VIM dan VFA. Dimana penambahan plastik dalam jumlah banyak membuat penyerapan aspal terhalangi dan membuat nilai VMA dan VIM nya menurun.

4.7.5 Flow

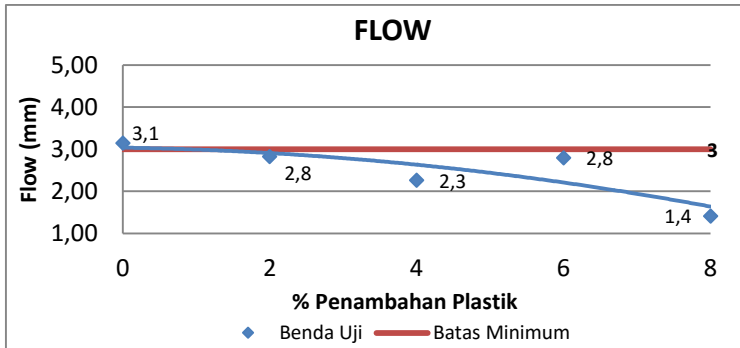
Menurut Departemen Pekerjaan Umum [12], flow merupakan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan, dinyatakan dalam satuan panjang. Sesuai perhitungan rencana dan hasil uji tes marshall, didapat nilai *flow* sebagai berikut :

Tabel 4.36 Nilai *flow* dengan penambahan PET

Kadar Plastik (%)	Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	Stabilitas (bacaan)	Stabilitas (dikalibrasi)	Kelelahan / Flow (bacaan)	Kelelahan / Flow (mm)
0%	1	7.30	113	1.565	351	3.51
0%	2	7.30	206	2.853	168	1.68
0%	3	7.30	91	1.260	360	3.60
0%	4	7.30	112	1.551	232	2.32
0%	5	7.30	124	1.717	102	1.02
Rata - rata :			105	1.459	314	3.14
2%	1	7.30	98	1.357	397	3.97
2%	2	7.30	124	1.717	280	2.80
2%	3	7.30	86	1.191	266	2.66
2%	4	7.30	155	2.147	273	2.73
2%	5	7.30	161	2.230	170	1.70
Rata - rata :			128	1.768	282	756
4%	1	7.30	216	2.992	1.23	1.23
4%	2	7.30	185	2.562	2.65	2.65
4%	3	7.30	182	2.521	1.78	1.78
4%	4	7.30	160	2.216	2.25	2.25
4%	5	7.30	105	1.454	3.40	3.40
Rata - rata :			169.6	2349	226	1246
6%	1	7.30	111	1.537	3.57	3.57
6%	2	7.30	150	2.078	1.90	1.90
6%	3	7.30	137	1.897	1.55	1.55
6%	4	7.30	178	2.465	4.90	4.90
6%	5	7.30	196	2.715	2.04	2.04
Rata - rata :			154	2138	279	916
8%	1	7.30	215	2.978	1.25	1.25
8%	2	7.30	202	2.798	1.17	1.17
8%	3	7.30	176	2.438	1.40	1.40
8%	4	7.30	205	2.839	1.15	1.15
8%	5	7.30	178	2.465	2.08	2.08
Rata - rata :			195.2	2703.5	141	1.41

Contoh perhitungan *Flow* dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- *Flow*
 $= \text{Angka bacaan} \times 0,01 \text{ (mm)}$
 $= 397 \times 0,01$
 $= 3,97 \text{ mm}$



Gambar 4.14 Grafik *flow* dengan penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai *flow* tertinggi adalah campuran aspal tanpa penambahan plastik sebesar 3,1 mm. Dari sini dapat diketahui bahwa seiring bertambahnya kadar plastik, maka nilai *flow* semakin mengalami penurunan. Dimana nilai *flow* tanpa penambahan plastik sebesar 3,1 mm, kemudian mengalami penurunan hingga 2,3 mm pada kadar plastik 4%, lalu mengalami kenaikan pada kadar plastik 6% sebesar 2,8 mm dan turun kembali pada kadar plastik 8% sebesar 1,4 mm.

Menurut Purnamasari [14] dan Rahmawati [13], mengatakan bahwa dengan penambahan plastik pada campuran aspal dapat menurunkan nilai *flow* pada campuran. Dari penelitian terdahulu yang telah dilakukan sangat sesuai dengan penelitian ini, dimana

dengan ditambahkan plastik kedalam campuran aspal membuat nilai *flow* semakin kecil. Hal ini disebabkan karena dengan ditambahkan plastik kedalam campuran aspal membuat campuran aspal menjadi mengeras sehingga membuat kelenturan atau fleksibilitas aspal menurun. Sehingga dengan ditambahkan plastik kedalam lapisan aspal, dapat meningkatkan kekuatan lapisan perkerasan yang menyebabkan berkurangnya fleksibilitas dari lapisan tersebut.

Dalam penelitian ini terlihat bahwa tidak ada benda uji dengan campuran plastik yang memenuhi spesifikasi dan ada beberapa benda uji yang hampir memasuki batas bawah spesifikasi. Nilai *flow* yang terlalu kecil dapat menimbulkan campuran aspal menjadi mudah retak. Namun, harus dilakukan pengujian *real* di lapangan untuk mengetahui apakah sifat campuran aspal plastik sama dengan campuran aspal normal atau tidak. Nilai *flow* yang tidak memenuhi spesifikasi dalam campuran HRS- Base bisa digunakan karena lapisan HRS-Base masih berada dibawah lapisan HRS-WC, sehingga masih bisa dimungkinkan retak asalkan lapisan HRS-WC di atasnya tidak mengalami keretakan.

4.7.6 Stabilitas

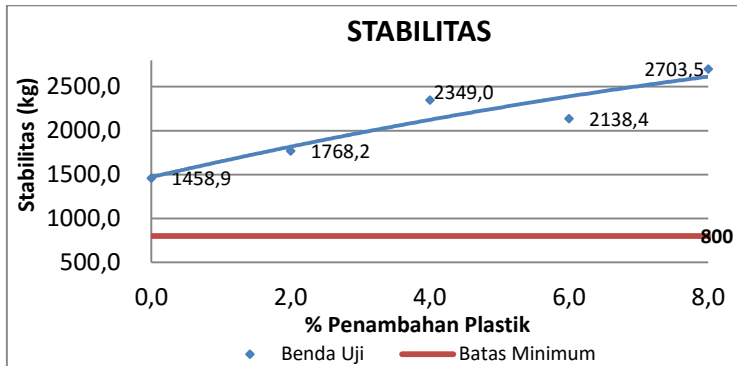
Menurut Sukirman [11], stabilitas merupakan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Sesuai perhitungan rencana dan hasil uji tes marshall, didapat nilai stabilitas sebagai berikut :

Tabel 4.37 Nilai stabilitas dengan penambahan PET

Kadar Plastik (%)	Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	Stabilitas (bacaan)	Stabilitas (dikalibrasi)
0%	1	7.30	113	1.565
0%	2	7.30	206	2.853
0%	3	7.30	91	1.260
0%	4	7.30	112	1.551
0%	5	7.30	124	1.717
Rata - rata :			105	1.459
2%	1	7.30	98	1.357
2%	2	7.30	124	1.717
2%	3	7.30	86	1.191
2%	4	7.30	155	2.147
2%	5	7.30	161	2.230
Rata - rata :			128	1.768
4%	1	7.30	216	2.992
4%	2	7.30	185	2.562
4%	3	7.30	182	2.521
4%	4	7.30	160	2.216
4%	5	7.30	105	1.454
Rata - rata :			169.6	2349
6%	1	7.30	111	1.537
6%	2	7.30	150	2.078
6%	3	7.30	137	1.897
6%	4	7.30	178	2.465
6%	5	7.30	196	2.715
Rata - rata :			154	2138
8%	1	7.30	215	2.978
8%	2	7.30	202	2.798
8%	3	7.30	176	2.438
8%	4	7.30	205	2.839
8%	5	7.30	178	2.465
Rata - rata :			195.2	2703.5

Stabilitas merupakan hasil bacaan pada jarum pembaca yang dikalikan dengan angka kalibrasi. Contoh perhitungan stabilitas dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Stabilitas
 - = *Angka bacaan* × *kalibrasi*
 - = $98 \times 13,85$
 - = 1.357 kg



Gambar 4.15 Grafik stabilitas dengan penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas tertinggi adalah campuran aspal dengan penambahan plastik 8% sebesar 2703,5 kg. Dari sini dapat diketahui bahwa seiring bertambahnya kadar plastik, maka nilai stabilitas semakin meningkat. Dimana nilai stabilitas tanpa penambahan plastik sebesar 1458,9 kg, kemudian mengalami kenaikan secara signifikan hingga 85,31% pada kadar plastik 8% dengan nilai stabilitas 2703,5 kg.

Menurut Purnamasari P.E dan Rahmawati A [14] [13], mengatakan bahwa dengan penambahan plastik pada campuran aspal dapat meningkatkan nilai stabilitas pada campuran. Dari penelitian terdahulu yang telah dilakukan sangat sesuai dengan penelitian ini, dimana dengan ditambahkan plastik kedalam campuran aspal membuat nilai stabilitas meningkat dengan signifikan. Hal ini disebabkan karena dengan ditambahkan

plastik kedalam campuran aspal membuat campuran aspal menjadi mengeras sehingga membuat stabilitasnya menjadi meningkat dengan signifikan. Sehingga dengan ditamhakkannya plastik kedalam lapisan aspal, dapat meningkatkan kekuatan lapisan perkerasan yang nantinya akan berdampak terhadap berkurangnya fleksibilitas dari lapisan tersebut. Dampak negatif dari bertambahnya nilai stabilitas yang signifikan adalah dapat mengurangi fleksibilitas atau kelelahan lapisan aspal yang membuat lapisan aspal menjadi sangat kaku dan mudah retak. Oleh sebab itu penambahan plastik kedalam campuran aspal tidak boleh terlalu banyak, karena dikhawatirkan dapat membuat lapisan aspal menjadi mudah retak.

Maka dari itu untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan metode yang berbeda yakni dengan menambahkan sampel kadar plastik terhadap semua variasi kadar aspal. Bukan hanya memvariasikan kadar plastik terhadap kadar aspal optimum saja, karena kadar aspal optimum untuk campuran aspal biasa belum tentu menjadi kadar aspal optimum untuk campuran aspal dengan penambahan plastik.

4.7.7 Marshall Quotient

Menurut Rahmawati [13], *Marshall Quotient* dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap kelelahan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran. Sesuai perhitungan rencana dan hasil uji tes marshall, didapat nilai *marshall quotient* sebagai berikut :

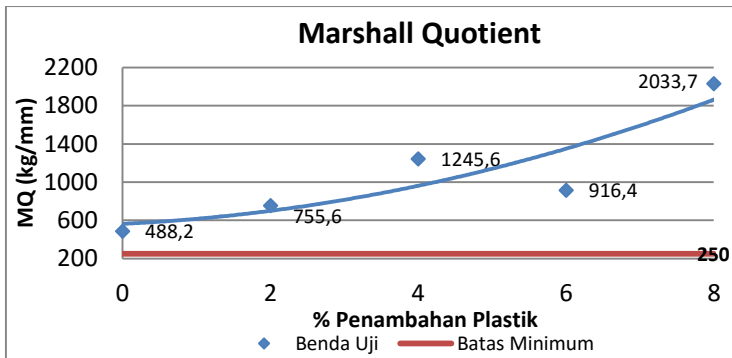
Tabel 4.38 Nilai MQ dengan penambahan PET

Kadar Plastik (%)	Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	Stabilitas (bacaan)	Stabilitas (dikalibrasi)	Kelelahan / Flow (mm)	Marshall Quotient (kg/mm)
0%	1	7.30	113	1.565	3.51	446
0%	2	7.30	206	2.853	1.68	1698
0%	3	7.30	91	1.260	3.60	350
0%	4	7.30	112	1.551	2.32	669
0%	5	7.30	124	1.717	1.02	1684
Rata - rata :			105	1.459	3.14	488
2%	1	7.30	98	1.357	3.97	342
2%	2	7.30	124	1.717	2.80	613
2%	3	7.30	86	1.191	2.66	448
2%	4	7.30	155	2.147	2.73	786
2%	5	7.30	161	2.230	1.70	1312
Rata - rata :			128	1.768	2.82	756
4%	1	7.30	216	2.992	1.23	2432
4%	2	7.30	185	2.562	2.65	967
4%	3	7.30	182	2.521	1.78	1416
4%	4	7.30	160	2.216	2.25	985
4%	5	7.30	105	1.454	3.40	428
Rata - rata :			169.6	2349	2.26	1246
6%	1	7.30	111	1.537	3.57	431
6%	2	7.30	150	2.078	1.90	1093
6%	3	7.30	137	1.897	1.55	1224
6%	4	7.30	178	2.465	4.90	503
6%	5	7.30	196	2.715	2.04	1331
Rata - rata :			154	2138	2.79	916
8%	1	7.30	215	2.978	1.25	2382
8%	2	7.30	202	2.798	1.17	2391
8%	3	7.30	176	2.438	1.40	1741
8%	4	7.30	205	2.839	1.15	2469
8%	5	7.30	178	2.465	2.08	1185
Rata - rata :			195.2	2703.5	1.41	2034

Marshall quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan flow. Contoh perhitungan *Marshall quotient* dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Penyerapan aspal terhadap total campuran (VFA)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Stabilitas}}{\text{flow}} \\
 &= \frac{1357}{3.97} \\
 &= 342 \text{ kg/mm}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.16 Grafik MQ dengan penambahan PET

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai *Marshall Quotient* tertinggi adalah campuran aspal dengan penambahan plastik 8% sebesar 2033,7 kg/mm. Dari sini dapat diketahui bahwa seiring bertambahnya kadar plastik, maka nilai *Marshall Quotient* semakin meningkat. Dimana nilai *Marshall Quotient* tanpa penambahan plastik sebesar 488,2 kg/mm, kemudian mengalami kenaikan secara signifikan hingga 2033,7 kg/mm. Namun pada saat kadar plastik 6%, nilai *Marshall Quotient* sempat mengalami penurunan yakni 916,4 kg/mm.

Menurut Purnamasari [14] dan Rahmawati [13], mengatakan bahwa dengan penambahan plastik pada campuran aspal dapat meningkatkan nilai *Marshall Quotient* pada campuran. Terdapat kesesuaian antaran penelitian terdahulu dengan penelitian ini, dimana dengan ditambahkan plastik kedalam campuran aspal membuat nilai *Marshall Quotient* meningkat dengan signifikan. Hal ini disebabkan karena dengan ditambahkan plastik kedalam campuran aspal membuat nilai stabilitas besar dan nilai flow kecil sehingga nilai *Marshall Quotient* menjadi besar.

Dari pengujian Marshall yang telah dilakukan, hasil dari parameter Marshall terangkum dalam tabel dibawah ini :

Tabel 4.39 Rangkuman hasil uji Marshall

Parameter Marshall	Spesifikasi	Kisaran	Kadar Aspal Optimum (KAO) %				
STABILITAS	>800 Kg	6.3 - 8.3	1458.9	1768.2	2349.0	2138.4	2703.5
FLOW	> 3 mm	6.3 - 8.3	3.14	2.82	2.26	2.79	1.41
VIM	4.0% - 6.0%	6.3 - 8.3	3.73	2.78	5.86	5.53	2.65
VFA	> 68%	6.3 - 8.3	81.41	86.40	73.95	76.69	86.33
VMA	> 17%	6.3 - 8.3	19.81	19.02	21.58	21.31	18.91
MQ	>250 kg/mm	6.3 - 8.3	488.2	755.6	1245.6	916.4	2033.7
Variasi PET (%)			0.0	2.0	4.0	6.0	8.0

Berdasarkan rangkuman tabel hasil Parameter Marshall diatas, untuk menentukan kadar plastik yang sesuai pada campuran Lataston Lapis Pondasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.40 Kadar PET optimum

Parameter Marshall	Spesifikasi	Kisaran	Kadar Aspal Optimum (KAO) %				
STABILITAS	>800 Kg	6.3 - 8.3					
FLOW	> 3 mm	6.3 - 8.3					
VIM	4.0% - 6.0%	6.3 - 8.3					
VFA	> 68%	6.3 - 8.3					
VMA	> 17%	6.3 - 8.3					
MQ	>250 kg/mm	6.3 - 8.3					
Variasi PET (%)			0.0	2.0	4.0	6.0	8.0
Dipakai Variasi PET (%)			5.0				

Setelah dilakukan analisa, dari tabel diatas bisa kita lihat bahwa pada campuran aspal yang ditambah plastik, nilai flow nya tidak ada yang memenuhi spesifikasi, namun pada kadar 4% sudah hampir mendekati batas bawah spesifikasi. Secara keseluruhan,

campuran aspal dengan penambahan PET yang hampir memenuhi semua kriteria parameter Marshall adalah variasi plastik dengan kadar 4%-6%. Jadi kadar plastik optimum yang dapat digunakan dalam campuran aspal adalah nilai tengah antara kadar 4%-6% yaitu 5%. Sehingga, kadar aspal optimum pada Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) dengan penambahan PET adalah 7,30% dengan campuran PET sebesar 5% dari total berat aspal.

Tabel 4.41 Rangkuman material yang digunakan

Item	Jenis	Produksi	Proporsi Campuran	Berat Jenis	Penyerapan Air
Agregat	(10-10) mm	AMP Suramadu (Crusher Pasuruan)	27%	2.706	1.042%
	(5-10) mm		20%	2.812	0.617%
	(0-5) mm		53%	2.702	1.266%
Aspal	Pen 60/70	Pertamina	7,3%	1.036	-
Plastik	PET	Limbah	2%, 4% ,6% , dan 8%	-	-

Tabel 4.42 Rangkuman hasil pengujian

Kadar Plastik (%)	Benda uji nomor	Variasi kadar aspal (%)	Parameter Marshall						
			Density (Gr/Cm ³)	VIM	VMA	VFA	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Marsh.Quotient (kg/mm)
			Spesifikasi						
			-	4.0%-6.0%	>17%	>68%	>800 Kg	>3 mm	>250 kg/mm
0%	1	7.30	2.335	5.26	21.08	75.05	1.565	3.51	446
0%	2	7.30	2.391	3.02	19.22	84.29	2.853	1.68	1698
0%	3	7.30	2.407	2.36	18.66	87.38	1.260	3.60	350
0%	4	7.30	2.377	3.59	19.69	81.79	1.551	2.32	669
0%	5	7.30	2.401	2.58	18.85	86.32	1.717	1.02	1684
Rata - rata :			2.373	3.73	19.81	81.41	1.459	3.14	488
2%	1	7.30	2.443	0.88	17.43	94.97	1.357	3.97	342
2%	2	7.30	2.430	1.43	17.89	92.00	1.717	2.80	613
2%	3	7.30	2.451	0.57	17.18	96.69	1.191	2.66	448
2%	4	7.30	2.452	0.55	17.16	96.80	2.147	2.73	786
2%	5	7.30	2.316	6.04	21.73	72.22	2.230	1.70	1312
Rata - rata :			2.396	2.78	19.02	86.40	1.768	2.82	756
4%	1	7.30	2.373	3.75	19.82	81.11	2.992	1.23	2432
4%	2	7.30	2.287	7.24	22.73	68.15	2.562	2.65	967
4%	3	7.30	2.276	7.68	23.10	66.75	2.521	1.78	1416
4%	4	7.30	2.243	8.99	24.19	62.83	2.216	2.25	985
4%	5	7.30	2.424	1.64	18.07	90.90	1.454	3.40	428
Rata - rata :			2.321	5.86	21.58	73.95	2348.96	2.26	1246
6%	1	7.30	2.395	2.85	19.07	85.08	1.537	3.57	431
6%	2	7.30	2.408	2.31	18.63	87.58	2.078	1.90	1093
6%	3	7.30	2.258	8.41	23.71	64.53	1.897	1.55	1224
6%	4	7.30	2.147	12.92	27.47	52.96	2.465	4.90	503
6%	5	7.30	2.436	1.18	17.69	93.31	2.715	2.04	1331
Rata - rata :			2.329	5.53	21.31	76.69	2138	2.79	916
8%	1	7.30	2.375	3.65	19.74	81.52	2.978	1.25	2382
8%	2	7.30	2.451	0.57	17.17	96.71	2.798	1.17	2391
8%	3	7.30	2.360	4.27	20.26	78.93	2.438	1.40	1741
8%	4	7.30	2.410	2.23	18.56	87.99	2.839	1.15	2469
8%	5	7.30	2.402	2.54	18.82	86.51	2.465	2.08	1185
Rata - rata :			2.400	2.65	18.91	86.33	2703.52	1.41	2034

4.8 Perbandingan Harga Campuran Aspal

Perbandingan harga campuran aspal dilakukan dengan membandingkan harga campuran aspal tanpa menggunakan tambahan PET dan campuran aspal yang menggunakan bahan tambah PET. Komposisi campuran yang digunakan merupakan komposisi campuran HRS-Base yang diperoleh dari analisa hasil praktikum. Dimana kadar aspal yang digunakan merupakan kadar aspal optimum 7,30% dari total berat campuran, dengan kadar PET sebesar 5% dari total berat aspal. Komposisi agregat meliputi 53% agregat halus ukuran (0-5) mm, 27% agregat kasar ukuran (10-10) mm, dan 20% agregat kasar ukuran (5-10) mm. Pedoman yang digunakan dalam perhitungan merupakan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 11/PRT/M/2013 tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum [18].

4.8.1 Analisa Harga Bahan Tanpa PET

Dalam penentuan harga bahan harus dilakukan asumsi untuk perhitungan koefisien. Adapun asumsi tersebut diperoleh dari pengujian di laboratorium. Perhitungan analisa harga mengacu pada Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum Tahun 2013 [18].

a. Harga per m³

Asumsi analisa harga dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.43 Asumsi analisa harga tanpa PET per m³

No.	Uraian	Kode	Koefisien	Satuan
1)	Komposisi Campuran HRS-Base			
	-Agregat kasar 10-10	CA ₁	25.03	%
	-Agregat kasar 5-10	CA ₂	18.54	%
	-Agregat halus 0-5	FF	49.13	%
	-Aspal	As	7.30	%
2)	Berat Jenis Bahan :			
	-Agregat kasar 10-10	D ₁	2.706	ton/m ³
	-Agregat kasar 5-10	D ₂	2.812	ton/m ³
	-Agregat halus 0-5	D ₃	2.702	ton/m ³
	-Aspal	D ₄	1.036	ton/m ³

Contoh perhitungan asumsi analisa harga dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Komposisi campuran agregat halus

$$\begin{aligned}
 \text{Berat keseluruhan agregat} &= 1200 - (\% \text{aspal} \times 1200) \\
 &= 1200 - (7,30\% \times 1200) \\
 &= 1112,4 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 53\% \text{ terhadap berat agregat} &= 53\% \times 1112,4 \\
 &= 589,572 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persentase FF terhadap total campuran} &= \frac{589,572}{1200} \\
 &= 49,131\%
 \end{aligned}$$

- Berat isi bahan

Asumsi berat jenis kering (curah) diperoleh dari pengujian berat jenis agregat dan aspal pada 4.1.2

Setelah diasumsi, maka selanjutnya harus dilakukan perhitungan koefisien bahan yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.44 Koefisien bahan tanpa PET per m³

No.	Uraian		Koefisien	Satuan
1)	Agregat kasar 10-10	$= CA_1 \times 1 \text{ m}^3 \times D_1$	0.677	m ³
2)	Agregat kasar 5-10	$= CA_2 \times 1 \text{ m}^3 \times D_2$	0.521	m ³
3)	Agregat halus 0-5	$= FF \times 1 \text{ m}^3 \times D_3$	1.327	m ³
4)	Aspal	$= As \times 1 \text{ m}^3 \times D_4$	0.076	Ton

Contoh perhitungan koefisien analisa harga dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Agregat kasar 10-10

$$= CA_1 \times 1 \text{ m}^3 \times D_1$$

$$= 25,03\% \times 1 \text{ m}^3 \times 2,706$$

$$= 0,677 \text{ m}^3$$

Setelah koefisien bahan telah didapatkan, maka selanjutnya akan didapatkan jumlah harganya. Jumlah harga campuran aspal tanpa penambahan PET dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.45 Jumlah harga bahan tanpa PET per m³

No.	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
1)	Agregat kasar 10-10	m ³	0.677	Rp155.000,-	Rp104.983,-
2)	Agregat kasar 5-10	m ³	0.521	Rp155.000,-	Rp80.808,-
3)	Agregat halus 0-5	m ³	1.327	Rp100.000,-	Rp132.749,-
3)	Aspal	Ton	0.076	Rp6.000.000,-	Rp453.768,-
					Rp772.309,-

Contoh perhitungan jumlah harga dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Agregat kasar 10-10

$$= \text{koefisien} \times \text{harga satuan}$$

$$= 0.677 \times \text{Rp155.000,-}$$

$$= \text{Rp104.983,-}$$

Setelah jumlah harga dari semua bahan telahterhitung, maka diperoleh harga bahan campuran aspal HRS-Base tanpa penambahan PET sebesar Rp772.309,-/m³.

b. Harga per benda uji (1200 gram)

Asumsi analisa harga dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.46 Asumsi analisa harga tanpa PET per benda uji

No.	Uraian	Kode	Koefisien	Satuan
1)	Komposisi Campuran HRS-Base			
	-Agregat kasar 10-10	CA ₁	25.03	%
	-Agregat kasar 5-10	CA ₂	18.54	%
	-Agregat halus 0-5	FF	49.13	%
	-Aspal	As	7.30	%
2)	Berat Jenis Bahan :			
	-Agregat kasar 10-10	D ₁	2.706	ton/m ³
	-Agregat kasar 5-10	D ₂	2.812	ton/m ³
	-Agregat halus 0-5	D ₃	2.702	ton/m ³
	-Aspal	D ₄	1.036	ton/m ³

Contoh perhitungan asumsi analisa harga dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Komposisi campuran agregat halus

$$\text{Berat keseluruhan agregat} = 1200 - (\% \text{aspal} \times 1200)$$

$$= 1200 - (7,30\% \times 1200)$$

$$= 1112,4 \text{ gram}$$

$$27\% \text{ terhadap berat agregat} = 27\% \times 1112,4$$

$$= 300,348 \text{ gram}$$

Persentase CA_1 terhadap total campuran

$$= \frac{300,348}{1200} \\ = 25,03\%$$

- Berat isi bahan

Asumsi berat jenis kering (curah) diperoleh dari pengujian berat jenis agregat dan aspal pada 4.1.2

Setelah diasumsi, maka selanjutnya harus dilakukan perhitungan koefisien bahan yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.47 Koefisien bahan tanpa PET per m³

No.	Uraian		Koefisien	Satuan
1)	Agregat kasar 10-10	$= (CA_1 \times 1200) : (D_1 \times 10^6)$	0.000111	m ³
2)	Agregat kasar 5-10	$= (CA_2 \times 1200) : (D_2 \times 10^6)$	0.000079	m ³
3)	Agregat halus 0-5	$= (FF \times 1200) : (D_3 \times 10^6)$	0.000218	m ³
4)	Aspal	$= (As \times 1200) : (D_4 \times 10^6)$	0.000085	Ton

Contoh perhitungan koefisien analisa harga dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :
(berat jenis diubah dari t/m³ menjadi gr/m³)

- Agregat halus 0-5

$$= (FF \times 1200) : (D_3 \times 10^6) \\ = (FF \times 1200) : (2,702 \times 10^6) \\ = 0,000218 \text{ m}^3$$

Setelah koefisien bahan telah didapatkan, maka selanjutnya akan didapatkan jumlah harganya. Jumlah harga campuran aspal tanpa penambahan PET dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.48 Jumlah harga bahan tanpa PET per m³

No.	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
1)	Agregat kasar 10-10	m ³	0.000111	Rp155.000,-	Rp17,-
2)	Agregat kasar 5-10	m ³	0.000079	Rp155.000,-	Rp12,-
3)	Agregat halus 0-5	m ³	0.000218	Rp100.000,-	Rp22,-
3)	Aspal	Ton	0.000085	Rp6.000.000,-	Rp507,-
					Rp559,-

Contoh perhitungan jumlah harga dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Agregat halus 0-5
 $= \text{koefisien} \times \text{harga satuan}$
 $= 0.000218 \times \text{Rp}100.000,-$
 $= \text{Rp}22,-$

Setelah jumlah harga dari semua bahan telahterhitung, maka diperoleh harga bahan campuran aspal HRS-Base tanpa penambahan PET sebesar Rp559,- /benda uji.

4.8.2 Analisa Harga Bahan dengan Tambahan PET

Dalam penentuan harga bahan harus dilakukan asumsi untuk perhitungan koefisien. Adapun asumsi tersebut diperoleh dari pengujian di laboratorium. Perhitungan analisa harga mengacu pada Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum Tahun 2013 [18].

a. Harga per m³

Asumsi analisa harga dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.49 Asumsi analisa harga dengan PET per m³

No.	Uraian	Kode	Koefisien	Satuan
1)	Komposisi Campuran HRS-Base			
	-Agregat kasar 10-10	CA ₁	25.03	%
	-Agregat kasar 5-10	CA ₂	18.54	%
	-Agregat halus 0-5	FA	49.13	%
	-Aspal	As	6.94	%
	-PET	Ad	0.37	%
2)	Berat Jenis Bahan :			
	-Agregat kasar 10-10	D ₁	2.706	ton/m ³
	-Agregat kasar 5-10	D ₂	2.812	ton/m ³
	-Agregat halus 0-5	D ₃	2.702	ton/m ³
	-Aspal	D ₄	1.036	ton/m ³

Contoh perhitungan asumsi analisa harga dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Komposisi campuran aspal

$$\text{Berat keseluruhan aspal} = \text{aspal} \times 1200$$

$$= 7,30\% \times 1200$$

$$= 87,6 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Total aspal} = 87,6 - (5\% \times 87,6)$$

$$= 83,22 \text{ gram}$$

$$\text{Persentase aspal} = \frac{83,22}{1200}$$

$$= 6,935\%$$

- Berat isi bahan

Asumsi berat jenis kering (curah) diperoleh dari pengujian berat jenis agregat dan aspal pada 4.1.2

Setelah diasumsi, maka selanjutnya harus dilakukan perhitungan koefisien bahan yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.50 Koefisien bahan dengan PET per m³

No.	Uraian		Koefisien	Satuan
1)	Agregat kasar 10-10	= CA ₁ X 1 m ³ X D ₁	0.677	m ³
2)	Agregat kasar 5-10	= CA ₂ X 1 m ³ X D ₂	0.521	m ³
3)	Agregat halus 0-5	= FF X 1 m ³ X D ₃	1.327	m ³
4)	Aspal	= As X 1 m ³ X D ₄	0.072	Ton

Contoh perhitungan koefisien analisa harga dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Aspal

$$= As \times 1 \text{ m}^3 \times D_4$$

$$= 6,94\% \times 1 \text{ m}^3 \times 1,036$$

$$= 0,072 \text{ Ton}$$

Setelah koefisien bahan telah didapatkan, maka selanjutnya akan didapatkan jumlah harganya. Jumlah harga campuran aspal dengan penambahan PET dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.51 Jumlah harga bahan dengan PET per m³

No .	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
1)	Agregat kasar 10-10	m ³	0.677	Rp155.000,-	Rp104.983,-
2)	Agregat kasar 5-10	m ³	0.521	Rp155.000,-	Rp80.808,-
3)	Agregat halus 0-5	m ³	1.327	Rp100.000,-	Rp132.749,-
4)	Aspal	Ton	0.072	Rp6.000.000,-	Rp431.080,-
5)	PET	Ton			0
					Rp749.621,-

Contoh perhitungan jumlah harga dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Aspal

= koefisien \times harga satuan

= $0.072 \times \text{Rp}6.000.000,-$

= Rp431.080,-

Setelah jumlah harga dari semua bahan telahterhitung, maka diperoleh harga bahan campuran aspal HRS-Base dengan penambahan PET sebesar Rp749.621 /m³.

b. Harga per benda uji (1200 gram)

Asumsi analisa harga dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.52 Asumsi analisa harga dengan PET per benda uji

No.	Uraian	Kode	Koefisien	Satuan
1)	Komposisi Campuran HRS-Base			
	-Agregat kasar 10-10	CA ₁	25.03	%
	-Agregat kasar 5-10	CA ₂	18.54	%
	-Agregat halus 0-5	FA	49.13	%
	-Aspal	As	6.94	%
	-PET	Ad	0.37	%
2)	Berat Jenis Bahan :			
	-Agregat kasar 10-10	D ₁	2.706	ton/m ³
	-Agregat kasar 5-10	D ₂	2.812	ton/m ³
	-Agregat halus 0-5	D ₃	2.702	ton/m ³
	-Aspal	D ₄	1.036	ton/m ³

Contoh perhitungan asumsi analisa harga dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Komposisi campuran aspal

Berat keseluruhan aspal = $aspal \times 1200$

= $7,30\% \times 1200$

= 87,6 gram

$$\begin{aligned}\text{Berat Total aspal} &= 87,6 - (5\% \times 87,6) \\ &= 83,22 \text{ gram}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Persentase aspal} &= \frac{83,22}{1200} \\ &= 6,935\%\end{aligned}$$

- Berat isi bahan

Asumsi berat jenis kering (curah) diperoleh dari pengujian berat jenis agregat dan aspal pada 4.1.2

Setelah diasumsi, maka selanjutnya harus dilakukan perhitungan koefisien bahan yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.53 Koefisien bahan dengan PET per benda uji

No.	Uraian		Koefisien	Satuan
1)	Agregat kasar 10-10	$= (CA_1 \times 1200) : (D_1 \times 10^6)$	0.000111	m ³
2)	Agregat kasar 5-10	$= (CA_2 \times 1200) : (D_2 \times 10^6)$	0.000079	m ³
3)	Agregat halus 0-5	$= (FF \times 1200) : (D_3 \times 10^6)$	0.000218	m ³
4)	Aspal	$= (As \times 1200) : (D_4 \times 10^6)$	0.000080	Ton

Contoh perhitungan koefisien analisa harga dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini : (berat jenis diubah dari t/m³ menjadi gr/m³)

- Aspal

$$\begin{aligned}&= (As \times 1200) : (D_4 \times 10^6) \\ &= (6,94 \times 1200) : (1,036 \times 10^6) \\ &= 0,072 \text{ Ton}\end{aligned}$$

Setelah koefisien bahan telah didapatkan, maka selanjutnya akan didapatkan jumlah harganya. Jumlah harga campuran aspal dengan penambahan PET dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.54 Jumlah harga bahan dengan PET per benda uji

No.	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan	Jumlah Harga
1)	Agregat kasar 10-10	m ³	0.000111	Rp155.000,-	Rp17,-
2)	Agregat kasar 5-10	m ³	0.000079	Rp155.000,-	Rp12,-
3)	Agregat halus 0-5	m ³	0.000218	Rp100.000,-	Rp22,-
4)	Aspal	Ton	0.000080	Rp6.000.000,-	Rp482,-
5)	PET	Ton			0
					Rp534,-

Contoh perhitungan jumlah harga dari tabel diatas, dapat dilihat di bawah ini :

- Aspal

$$= \text{koefisien} \times \text{harga satuan}$$

$$= 0.000080 \times \text{Rp}6.000.000,-$$

$$= \text{Rp}482,-$$

Setelah jumlah harga dari semua bahan telahterhitung, maka diperoleh harga bahan campuran aspal HRS-Base dengan penambahan PET sebesar Rp534 /benda uji.

Sehingga selisih harga bahan campuran aspal yang menggunakan PET dan yang tidak adalah :

- Selisih harga/ m³ = Rp772.309 – Rp749.621
= Rp22.688,- /m³

- Selisih harga/ benda uji = Rp559 – Rp534
=Rp25,-/benda uji

Sehingga, dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan PET sebagai campuran Lataston Lapis Pondasi dapat mengurangi biaya bahan sebesar Rp22.688 /m³.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan penelitian yang mencakup pemeriksaan material, pembuatan benda uji hingga pengujian Marshall benda uji yang ditambahkan PET dan yang tidak ditambahkan PET, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Campuran aspal pada Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) yang memenuhi sebagian besar parameter Marshall berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Tahun 2010 merupakan campuran aspal dengan kadar aspal optimum 7,30% dan kadar PET sebesar 5% dari total berat aspal.
2. PET yang dicampurkan kedalam campuran aspal pada Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) membuat beberapa parameter Marshall yaitu Density, VFA, dan Flow menurun. Sedangkan nilai VIM, VMA, Marshall Quotient, dan Stabilitas meningkat. Dimana nilai Stabilitas meningkat sangat signifikan mencapai 85% dari stabilitas campuran aspal normal.
3. Pada campuran aspal Lataston Lapis Pondasi (HRS-Base) dengan penambahan PET dapat mengurangi jumlah harga bahan sebesar Rp22.688 /m³ dibanding campuran aspal normal.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya antara lain :

1. Melakukan penelitian lanjutan dengan menambahkan variasi plastik lebih dari 8% hingga didapatkan penurunan nilai stabilitas.
2. Penelitian lanjutan berupa pengujian karakteristik aspal yang sudah dicampur dengan plastik.
3. Penelitian lanjutan berupa penelitian real di lapangan untuk mengetahui apakah nilai flow yang rendah pada campuran aspal plastik dapat menimbulkan retak seperti campuran aspal normal atau tidak. Jika hasil penelitian di lapangan menunjukkan hasil yang positif, bisa dilakukan pengajuan untuk spesifikasi khusus campuran aspal plastik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Admin, "Metro Tv News," Metro Tv, 7 September 2017. [Online]. Available: <http://internasional.metrotvnews.com/read/2017/09/07/754954/perangi-sampah-plastik-ri-dan-selandia-baru-gelar-konfe>. [Diakses 10 Januari 2018].
- [2] J. R. Jambeck, "Plastic Waste Input from Land Into Ocean," University of Georgia, 2015.
- [3] Admin, "Metro TV News," Metro TV, 1 Maret 2017. [Online]. Available: <http://m.metrotvnews.com/jatim/peristiwa/ZkeWIVAN-2016-surabaya-hasilkan-sampah-1-500-ton-hari>. [Diakses 10 Januari 2018].
- [4] Admin, "Batasnegeri," 29 Maret 2015. [Online]. Available: [http:// www.batasnegeri.com/era-jokowi-258-km-jalan-baru-di-5-wilayah-perbatasan-dibangun/](http://www.batasnegeri.com/era-jokowi-258-km-jalan-baru-di-5-wilayah-perbatasan-dibangun/). [Diakses 15 November 2017].
- [5] D. P. U. R. Direktorat Jendral Bina Marga, "Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3)," PU, Jakarta, 2010.
- [6] Y. Sofiana, "Pemanfaatan Limbah Plastik sebagai Alternatif Bahan Pelapis (Upsholstery) pada Produk Interior," *INASEA*, vol. 11, no. 2, pp. 96-102, 2010.

- [7] I. Mujiarto, “Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif,” *Traksi*, vol. 3, no. 2, 2005.
- [8] M. Nurminah, Penelitian Sifat Berbagai Bahan Kemasan Plastik dan Kertas serta Pengaruhnya terhadap Bahan yang Dikemas, Universitas Sumatera Utara, 2002.
- [9] F. L. Roberts, Hot Mix Asphalt Materials, Mixtures Design and Construction, Lanham, Maryland: Napa Education Foundation, 1991.
- [10] D. P. d. P. W. Direktorat Jendral Bina Marga, “Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas,” Pemukiman dan Prasarana, Jakarta, 2002.
- [11] Sukirman, Beton Aspal Campuran Panas, Bandung: Granit, 2003.
- [12] D. P. U. R. Direktorat Jendral Bina Marga, “Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya SKBI-2.4.26,” PU, Jakarta, 1987.
- [13] A. Rahmawati, M. A. Rosyada dan P. Nega, “Perbandingan Pengaruh Penambahan Plastik High Density Polyethylene (HDPE) dalam Laston-Wc dan Lataston-Wc Terhadap Karakteristik Marshall,” dalam *Seminar Nasional Teknik Sipil V*, 2015.

- [14] E. Purnamasari dan F. Suryaman, “Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (LASTON),” dalam *Konferensi Nasional Teknik Sipil 4 (KoNTekS 4)*, Sanur-Bali, 2010.
- [15] P. A. Prameswari, P. Pratomo dan D. Herianto, “Pengaruh Pemanfaatan PET pada Laton Lapis Pengikat Terhadap Parameter Marshall,” *JRSDD*, vol. 4, no. 2, pp. 294-305, 2016.
- [16] A. D. Widodo dan a. et, Pengaruh Penambahan Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalat (PET) Dalam Campuran Laston-WC Terhadap Parameter Marshall, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2016.
- [17] T. B. Moghaddam, Karim dan Soltani, Utilization of Waste Plastic Bottles in Asphalt Mixture, University of Malaya, 2013.
- [18] D. P. U. R. Direktorat Jendral Bina Marga, “Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum,” PU, Jakarta, 2013.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Farah Aisah, dilahirkan di Sampang pada tanggal 1 Maret 1996. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di TK Bhayangkari dan Sekolah Dasar di SD Negeri Gunung Sekar 1 Sampang. Penulis melanjutkan ke jenjang Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 1 Sampang, dan melanjutkan jenjang pendidikan di SMA Negeri 1 Sampang. Pada tahun 2014 penulis terdaftar sebagai mahasiswi di Jurusan Diploma 4 Teknik Sipil, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Di jurusan Teknik Sipil ini, penulis mengambil bidang studi Bangunan Transportasi. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di berbagai kegiatan dan organisasi di luar kampus, diantaranya penulis terdaftar menjadi sekertaris forum mahasiswa daerah Sampang Tahun 2015. Penulis juga aktif dalam organisasi lain yaitu sebagai staff di Departemen Hubungan Luar, BEM FTSP ITS. Selain itu, penulis pernah mengikuti kerja praktek di PT. Waskita Karya (Persero) Tbk, pada proyek pembangunan Jalan Tol Krian –Legundi – Bunder – Manyar. Jika ada keperluan terkait penelitian ini, penulis dapat dihubungi melalui email aisahfarah@gmail.com

Dalam kesempatan ini, saya ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah mensupport dan membantu saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini :

1. Allah SWT yang telah memberikan karunia-Nya, sehingga tugas akhir terapan ini dapat terselesaikan, walaupun selama penyelesaian tugas akhir ini mengalami hambatan dan rintangan yang tiada henti.
2. Kedua orang tua saya yaitu ayah Drs. H. Aliwafa, M.Si serta Ebo' Dra. Hj. R.A. Aminatus Sa'diyah dan juga kakak saya Usri Amrullah, S.T serta seluruh keluarga besar yang tiada henti mensupport dan mendoakan saya setiap saat.
3. Dosen pembimbing saya Bapak Dr. Machsus, S.T, M.T yang telah membimbing dan mengajarkan saya hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
4. Teman – teman saya yaitu Irol, Ca'eng, Oci, dan Ica yang telah membantu dan mensupport saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Tim Penelitian Aspal plastik yaitu ica, adam, dan derina, serta Tim Dosen Aspal Plastik yaitu Bapak Rachmat Basuki, Bapak Agung, Ibu Amalia, dan Bapak Khoiri yang telah sama – sama membimbing kami dalam penelitian aspal plastik ini.
6. Seluruh staff dan karyawan Laboratorium Jalan yang telah membantu kami dalam proses penelitian.
7. Teman-teman Kelas B 2014 yang telah memberikan semangat, perhatian dan dukungan selama penyusunan tugas akhir ini.